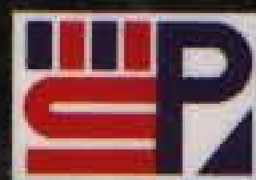
当前风行全美200多所高校的精品教材

地理信息系统导论

Introduction to
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

〔美〕Kang-tsung Chang 著
陈健飞 等 译



科学出版社
www.sciencep.com

目　录

第1章 绪 论

1.1 什么是地理信息系统

地理信息系统(GIS)是用于输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统。像任何其他信息技术一样,GIS 可分为如下四个部分:

(1)**计算机系统**。计算机系统包括运行 GIS 的计算机和操作系统。常见的选择是采用 Windows 操作系统(如 Windows 2000, Windows NT)的个人电脑或用 UNIX 操作系统的工作站。附属设备包括用于显示的显示器,用于空间数据输入的数字化仪或扫描仪和用于硬拷贝数据显示的打印机和绘图仪。

(2)**GIS 软件**。GIS 软件包括用于驱动硬件的程序和用户界面。GIS 中的常见的用户界面是菜单、图标和命令。

(3)**智囊(*Brainware*)**。与计算机硬件和软件同等重要,智囊指的是目的和目标,并为使用 GIS 提供动机和理由。

(4)**设施**。设施指的是 GIS 操作必需的物质、组织、管理和文化环境,包括必需的技能、数据标准、数据交换中心(clearinghouses) 和常规组织模式。

GIS 并不是一项新生的事物。20 世纪 60 年代后期计算机已用于存储和处理地理数据,与 GIS 有关的工作的早期例子如下:

(1)爱丁堡大学的计算机制图 (Coppock 1988),哈佛实验室的计算机制图(Chrisman 1988)和试验制图单元(Rhind 1988)。

(2)加拿大土地详查和其后的加拿大地理信息系统的发展(Tomlinson 1984)。

(3)Ian McHarg 的《自然设计》(*Design with Nature*)的出版 (McHarg 1969) 和地图叠加方法。

(4)美国人口普查局的 DIME(二值独立地图编码) 系统中引入带有拓扑关系的城市街道网络(Broome 等 1990)。

尽管多年来 GIS 被看做是难学、昂贵和只有少数人拥有的软件,然而图形用户界面(GUI)、功能强大、能支付得起的软硬件和公共数字化数据的出现,已经拓宽了 GIS 应用的范围并使 GIS 进入主流应用。下面列出了 GIS 软件生产者及其主要产品。

(1)环境系统研究所 (ESRI) (http://www.esri.com/):**ArcInfo, ArcView ,ArcGIS**

(2)Autodesk 公司 (http://www3.autodesk.com/): **AutoCAD Map**

(3)得克萨斯 Baylor 大学 (http://www.baylor.edu/~grass/): **GRASS**

(4)克拉克实验室 (http://www.clarklabs.org/): **IDRISI**

(5)荷兰国际航空航天测量与地球科学学会(http://www.itc.nl/ilwis/):**ILWIS**

(6)MapInfo 公司 (http://www.mapinfo.com/): **MapInfo**

(7)ThinkSpace 公司 (http://www.thinkspace.com/): **MFworks**

(8)Intergraph 公司 (http://www.intergraph.com/): **MGE, GeoMedia**

(9)Bentley System 公司 (http://www.bentley.com/):**Microstation**

(10)PCI Geomatics (http://www.pcigeomatics.com/): **PAMAP**

(11)TYDAC 公司 (http://www.tydac.ch/):**SPANS**

(12)Caliper 公司(http://www.caliper.com/): **TransCAD, Maptitude**

(13) Northwood 技术有限公司(http://www.northwoodtec.com/): **Vertical Mapper**

根据一项公众调查 (Crockett 1997),ESRI 公司和 Intergraph 公司占据 GIS 软件市场的主导地位。ESRI 公司的两个主要产品是 ArcView 和 ArcInfo 8。ArcView 桌面 GIS 软件包是用扩展模块和单机使用程序来拓展其功能。ArcInfo 8 包括了 ArcInfo 工作站、ArcCatalog、ArcMap 和 ArcToolbox。ArcInfo 工作站与 ARC/INFO 7.x 版本大致相同,它能运行于 UNIX、Windows 2000 或 Windows NT,而其他三者只能在 Windows 2000 或 Windows NT 上运行。Intergraph 公司也有两个主要产品:MGE 和 GeoMedia。MGE 包括一系列运行于 Windows 2000、Windows NT 或 UNIX 上的产品,GeoMedia 是一个桌面 GIS 软件包,能与标准的 Windows 开发工具兼容。

较小的 GIS 公司常以战略伙伴关系来加强其在 GIS 市场的地位(注释栏 1.1)。在众多 GIS 软件包中 GRASS 是独一无二的,因为它是免费的。GRASS 最初由美国工程兵建筑工程研究室(U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories)开发,目前由美国(Baylor 大学)和德国(Hannover 大学)维护。TransCAD 是专为运输专业人员设计的 GIS 软件包。Microsoft 和 Oracle 这两个信息技术领域的大公司,也涉足 GIS 产业。Microsoft 的 MapPoint 提供服务的对象是需要分析地理数据并绘成地图的商业分析(http:// www.microsoft.com)。Oracle Spatial 的 Oracle 8i 是一个关系数据库管理系统,提供了存储、获取和管理空间数据的能力 (http://www.oracle.com/)。

注释栏 1.1　地理信息系统产业中的战略伙伴关系

战略伙伴关系用于提高公司在 GIS 市场的竞争力。伙伴关系可能包括出售软件包,提供数据交换功能或合作开发一项新的模块或扩展模块。下面列出这类合作伙伴:

- MapInfo 和 Vertical Mapper, MapInfo 和 SPANS
- PC Geomatics 和 ILWIS
- GeoMedia 和 Mfworks
- ESRI 和 ERDAS (一个栅格影像/影像处理公司)

GIS 产业也经历了公司间的兼并,例如,ESRI 兼并 Atlas GIS,Autodesk 兼并 Vision Solutions,GE 兼并 SmallWorld。SmallWorld 过去曾是家 GIS 公司,但现在 GE-SmallWorld (http://smallworld-us.com/) 在其商业运作中已不再作 GIS 广告 。

随着 GIS 的快速发展,大量的 GIS 书籍问世(见附录 A),一些期刊和行业杂志正专注于 GIS 及其应用(见附录 B)。

从一开始，GIS 在自然资源管理领域就显其重要性，例如，土地利用规划、森林管理、野生生物栖息地分析、河滨地带监测和自然灾害评估。近几年来，GIS 已用于突发事件规划、市场分析、设施管理、运输规划和军事上的应用。GIS 与其他技术如全球定位系统(GPS)和互联网的结合已产生了新的应用（注释栏 1.2）。总之，GIS 已成为擅长于地理或空间成分信息的一类信息系统。

GIS 与其他信息系统不同在于它能运作和处理地理参照数据。**地理参照数据**描述地球表面空间要素的位置和属性。道路和土地利用类型与降水量和高程同为空间要素。例如，在描述一条道路时，我们需要谈到它的位置（如它在哪里）和它的特征（道路类型、交通量等）。因此 GIS 包括两种地理数据成分：**空间数据**，与空间要素几何特性有关；**属性数据**，提供空间要素的信息。

地理信息系统与其他技术相结合的应用实例

近些年来，将 GIS 与其他技术结合诞生了新的应用。例如，精准农业、互联网上交互式地图制图和基于定位的服务。精准农业指精确定点的农事如除草剂或肥料的施用。用于精准农业的技术包括 GPS，用于确定野草或施肥的地点，GIS 用于储存和处理数据并生成地图，还有先进的计算机控制的喷雾器。

交互式绘图让互联网用户选择地图图层进行显示并生成他们自己的地图。用于交互式绘图的网站通常提供了漫游、缩放和简单的查询等功能。美国地质调查局(USGS）维持的一个网站使用美国国家地图集(http://www.nationalatlas.gov/)进行交互式绘图。美国人口普查局也有一个网站，名为“拓扑统一地理编码格式(TIGER)地图制图服务”(http://tiger.census.gov/)，在该网站上互联网用户可以将美国任何一处的公共地理数据输出成图。一般，在互联网上，GIS 为交互式绘图提供数据库、查询和绘图功能。

一些 GIS 公司特别是 MapInfo 和 Intergraph 正推动一项新的应用，称为定位服务（LBS)。这项应用允许用户通过无线电通讯发送和接收与某一特定地区有关的信息，例如，一个 LBS 用户可以使用一个能上网的移动电话，通过移动定位服务，来确定和获取与用户的位置有关的信息，如附近是否有自动取款机(ATM)和中国餐馆。

1.1.1 空间数据

地图制作人员在平面上用地图符号代表地球表面的空间要素。地图符号的位置是基于卡迪逊坐标系，该坐标系具有沿 x 和 y 轴相互正交的直线，而空间要素的位置是基于用经纬度值表示的地理格网。从球面地理格网到平面坐标系统的转换称为**地图投影**。现已发展了数百种地图投影用于绘制地图。每种地图投影保留了特定的空间性质，但同时牺牲了其他性质。

GIS 的一个基本原则是一起使用的图层必须基于相同坐标系。否则，不同图层的地图要素无法在空间上相互配准。

空间要素可能是离散或连续的，**离散要素**是指观测值不连续的要素(Dent 1999)，形成分离的实体，并可单个地识别。道路和土地利用类型即是离散要素的例子。**连续要素**指

观测值连续的要素(Dent 1999),降水量和高程即是连续要素的例子。

GIS 用两种基本的数据模型来表示空间要素:矢量或栅格(图 1.1)。**矢量数据模型**用点及其 x、y 坐标来构建点、线、面等空间要素。基于矢量的要素被看做是空间上离散的实体。**栅格数据模型**用格网来表示要素的空间变化。格网中的每个单元格都有一个对应于该位置上空间要素特征的值,栅格数据适合用于显示空间上连续的要素,如降水量和高程。

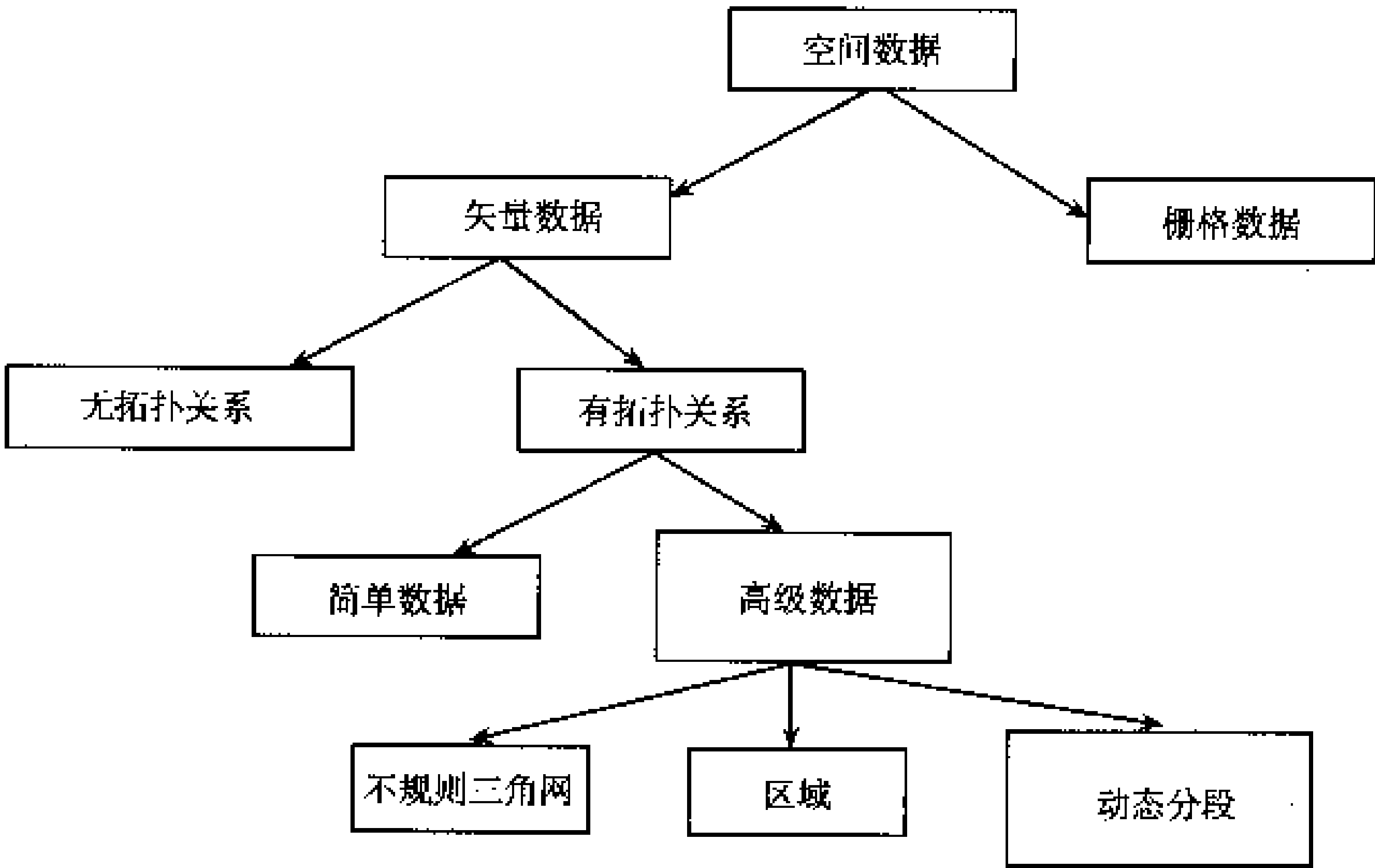


图 1.1 空间数据的数据模型。

数据模型决定了 GIS 中数据如何组织、存储、处理和分析。许多 GIS 功能是基于矢量格式的,或者是基于栅格格式的,因此 GIS 软件包中有不同的模块。ArcView 通过空间分析(Spatial Analyst)拓展模块提供了基于栅格的功能,ARC/INFO 在 GRID 模块中提供了基于栅格的命令,类似的,MGE 包括了 Grid 分析模块以处理栅格数据。一些 GIS 软件包原本只能处理基于栅格或基于矢量的数据,后通过战略伙伴关系获得处理其他数据模型的功能。

现在数据模型不是 GIS 用户真正关心的问题。栅格和矢量数据能被同时显示。栅格数据能被转成矢量数据,反之亦然。实际上 GIS 已变成一个可将栅格和矢量数据结合起来的有用工具。

矢量数据分成拓扑和非拓扑两类(图 1.1)。在 GIS 中用拓扑来精确表达要素间的空间关系,例如,两条线准确相交于一个点,一条有向线有明确的左侧和右侧。拓扑在检测数字化地图的数字化错误时很有用,对一些地图叠加操作和网络分析而言更是必要的。非拓扑数据的显示比拓扑数据更快,更重要的是,它们能直接用于不同的 GIS 软件包。GIS 用户必须知道他们的数据是拓扑或非拓扑的。例如,ESRI 公司用术语 **coverage** (**图层**)来表示基于拓扑的数字化地图,用 **shapefile** 表示非拓扑的矢量数据。

拓扑矢量数据能进一步分成简单和高级的数据。简单矢量数据包括点、线和多边形。高级数据在简单的点、线和多边形基础上构建而成。**不规则三角网** (**TIN**) 用一系列互不

叠工的三角形来近似表示地形。在 TIN 中每个三角形由点和连接这些点以形成三角形的边界（线）组成。**区域**是多边形的集合，它可以是相连的，也可以是不相连的，区域间可以相互叠加，或形成嵌套式的布局。**动态分段**是建立在网络线段上的数据模型，并可以使用现实世界的坐标进行线性量测，例如里程标志。

最近一些 GIS 软件包引入**面向对象数据模型**。面向对象数据模型用对象来组织空间数据。一个对象有一系列固定的属性并能按要求执行操作。为了显示空间要素，对象的形式可以是点、多点（点集）、折线（一系列线段）或是多边形（包括不连续的和嵌套的多边形）。因为对象的几何特性以所谓几何学（geometry）属性存储，面向对象数据模型不同于前述数据模型，这将在下节讨论。

1.1.2 属性数据

属性数据描述空间要素的特征。要素类型及应用不同，空间要素的属性数据的数量也会有显著的不同。例如，地图单元解释记录（MUIR）属性数据库包括了由美国自然资源保护局（NRCS，http://www.statlab.iastate.edu/soils/muir/）所调查的每个土壤制图单元的一系列表格中的数据（大约 88 个土壤理化性质、解释和性能的数据）。

许多商业 GIS 软件包用分开的数据系统分别存储空间数据和属性数据，通常称之为**地理相关模型**。空间数据以图形文件保存，用文件管理系统管理，属性数据用**关系数据库**管理。**关系数据库**是表的集合，也称关系表，它能通过属性彼此联结，属性值能惟一地确定表中的一个记录。GIS 中空间数据和属性数据通常通过要素标识码（ID）来连接。

GIS 用户可以用关系数据库进行数据查询、数据检索、数据编辑和创建报表。在 GIS 应用中，关系数据库有两个明显的优点：首先，数据库中每个表可以独立制备、维护和编辑；其次，关系表能保持独立，直到查询或分析时要求不同表中的属性数据连接在一起。因为连接表的需求通常是暂时的，因此关系数据库能胜任数据管理和数据处理。

关系型数据库模型是 GIS 和管理信息系统中的标准模型。随着 GIS 逐渐变成一个组织机构越来越大的信息系统中的一部分，一个 GIS 项目所需的属性数据可能来自整个企业的数据库。如果说空间数据将 GIS 与其他信息系统区分开来，那么属性数据就使得 GIS 与其他信息系统相联系。

面向对象数据模型不用不同数据系统分别存储空间数据与属性数据，而是在同一个数据库中同时存储这两种数据。用几何学（geometry）字段来存储空间数据。面向对象数据模型消除了两种数据文件系统同步并存带来的复杂性，这使得 GIS 与其他信息系统更接近。

1.2 地理信息系统操作

本节介绍 GIS 操作的概况。虽然 GIS 的操作并非按一套次序，但为了便于解释 GIS 用户所做的操作，我们将 GIS 操作分成空间数据输入、属性数据管理、数据显示、数据探

查、数据分析和 GIS 建模（图 1.2）。

空间数据输入	1. 数据进入：使用已有数据，创建新的数据 2. 数据编辑 3. 投影和投影转换 4. 几何变换
属性数据管理	1. 数据进入和核实 2. 数据库管理
数据显示	地图和图、表的应用
数据探查	1. 属性数据查询 2. 空间数据查询 3. 地理可视化
数据分析	1. 矢量数据分析：缓冲、叠加、距离量测、地图操作 2. 栅格数据分析：局域、邻域、分区、全局 3. 地形制图和分析 4. 空间插值：全局、局域 5. 基于区域的分析 6. 网络分析
GIS 建模	1. 二值模型 2. 指数模型 3. 回归模型 4. 过程模型

图 1.2　GIS 活动的分类。

1.2.1　空间数据输入

一个 GIS 项目最昂贵的部分即是数据库建设。数据库建设有两个基本的途径：① 使用现有的数据。② 创建新的数据。近年来数字化数据交换中心在互联网上很普及，如今 GIS 用户的策略在于决定创建新的数据或是从私人公司购买数据之前，看看有哪些公用数据可以共享。

可以由卫星影像、GPS 数据或纸质地图创建新的 GIS 数据。多种地图如土地利用图、土地覆被图和水文图可以通过卫星影像提取而得到。用太空中的卫星作为参照点，GPS 接收器能确定它在地球表面的精确位置，这样可以确定空间要素的位置和形状。

将纸质地图转成数字化地图有两种方法：一种是用数字化仪或计算机屏幕进行数字化，也称为手扶跟踪数字化；另一种是扫描。多数情况下扫描比手扶跟踪数字化更好，因为扫描通过机器和计算机运算来做大部分工作，这样避免了由于疲劳或粗心引起的人为错误。

不管制备得多么小心，新建的数字化图层总是有一些错误。数字化错误可通过数据编辑消除，数据编辑是数据库建设的一部分工作。一种常见的数字化错误与空间数据的位置精度有关，例如，缺失线或多边形，或线变形。另一种常见错误是拓扑错误，例如悬挂弧和

不闭合的多边形，这是由数字化的要素没能在点、线和面之间形成拓扑关系而致。

新建立的数字化地图的度量单位与用于数字化或扫描的原始地图相同(如英寸)，因此必须用一系列已知现实世界坐标值的控制点来进行投影转换，将其转成现实世界的坐标，这一过程称为几何变换。

1.2.2 属性数据管理

为了完成一个GIS项目的数据库建设，必须输入、核实和管理属性数据。与空间数据相似，属性数据的输入和核实也包括数字化和编辑。不管属性数据是否与空间数据分离，GIS中的属性数据通常用关系数据库管理。因为关系数据库由相互独立的表组成，其中一些表甚至可以是位于遥远的异地，所以表的设计应能方便数据输入、查询、检索、操作和输出。

在关系数据库设计中两个基本的要素是关键字段和数据关系的类型。关键字段是指两个表间的公共字段，它能在不同表的相应记录之间建立连接，数据关系类型指的是表如何联合或链接。以记录的数目可将关系类型分为“一对一”、“一对多”或“多对一”。

1.2.3 数据显示

通过地图、表格和统计图来显示数据是一个GIS项目普通功能。作为可视化工具，不论是强调空间数据的位置还是分布模式，地图在传递空间数据方面是最有效的。不管是单幅还是多幅，地图用于可视化和查询都是重要的。地图绘制也用于展示GIS分析的结果。

地图包括的要素有标题、副标题、地图主体、图例、指北针、比例尺、注释和边框。这些要素作为一个整体将空间信息传递给地图用户。数据显示的第一步是配置地图要素，基于Window的GIS软件包已简化了构建地图的过程。GIS用户能从程序菜单中选择常用的符号来表示数据的数量和质量，并能通过点击图标来构建地图。

数据显示的第二步是地图设计。设计精美的地图能帮助制图者将空间信息传递给读图者，而设计粗劣的地图会使读图者迷惑不解，甚至曲解制图者想传递的信息。地图设计是一个创造性的过程，不可能仅由计算机代码完成。

1.2.4 数据探查

数据探查是以数据为中心的查询和分析。数据探查可以是一个GIS操作或是一个执行数据分析的指令。数据查询可帮助用户弄清数据中的大概趋势，更好理解数据集，关注数据集间的可能关系。数据探查的目的是更好理解数据并帮助阐明研究的问题和设想。

有效的数据探查的一个重要部分是交互式和动态连接的可视化工具，包括地图、图形和表格。GIS用户能用地图或表格进行数据查询。通过查询，GIS用户能查看到数据集的空间和属性组分，这样就方便了信息的处理和综合。

地理可视化(MacEachren 1995)的功能与数据探查相似，只是它是面向地图的。用

于地理可视化的工具包括数据分类、数据聚合和地图比较。

1.2.5 数据分析

GIS 中数据分析与数据模型密切相关。矢量和栅格是两种基本的数据模型，每种都有它自己的一系列分析功能。常见的矢量分析功能包括缓冲区分析、地图叠加、距离量算和地图操作。栅格数据分析可在单个单元格、单元格集合或整个格网中的单元格等不同水平上进行。根据计算水平的不同，栅格数据操作通常分成局域、邻域、分区和全局操作。虽然一些 GIS 概念如地图叠加和缓冲区分析，对于矢量和栅格数据都是一样的，但操作步骤却不相同。

对于地形的制图和分析而言矢量和栅格数据的差别并不重要，因为两种类型的数据都可以用。栅格数据用于表现地表时效果极为理想，并且栅格数据结构很适合地形分析所要求的大数据量计算。然而，矢量数据如代表地形变化的高程点、等高线、河流与道路等，对地形的制图和分析也是很重要的数据源，而且，TIN 在地形分析中是一个基本的数据模型。

几百年来，地形一直是地图制图和分析的对象。制图技术例如等高线、剖面图、晕渲法、分层设色和透视法已被用于刻画地表形态。地表的量算例如坡度、坡向和表面曲率也已发展成熟。这些地表量算的方法在森林清查、土壤侵蚀、野生生物栖息地适宜性、立地条件分析和许多其他领域的研究中十分重要。地形分析还包括通视分析（确定从一个观测点可见到的地表范围）和流域分析（确定流向、流域边界和水系）。

对 GIS 用户而言，波状起伏、连绵不断的地表形态是一种很熟悉的空间要素。在 GIS 应用中用到的一些其他表面可能无实体显现，但可以用表示地表的方法使之可视化。制图者称这些表面为统计面，如降水量、温度、水位和人口密度。对统计面的研究工作多集中在发展空间插值方法上。

空间插值指用已知值的控制点来估算其他点的数值的过程。例如，对气象站点已知的温度记录进行插值，能估算出其他没有气象站点地区的长期的七月平均温度。GIS 通常将空间插值用于格网（栅格数据）并估算格网中所有单元格的值，因此空间插值是一种将点数据转成面数据的方法。像地形分析一样，空间插值将矢量和栅格数据结合在了一起。

空间插值的方法可分为全局和局域等。全局方法用已有的所有控制点估算未知值。趋势面分析和回归模型是两个著名的全局方法。局域方法用控制点的一组样本进行估算。GIS 应用中经常用到的局域方法有泰森多边形、密度估算、反距离权重、薄板样条和克里金。

较高水平的矢量数据提供附加的分析功能，简单的点、线和多边形不可能具有这些功能。因为在一个综合多边形图层中，区域可以相互叠置和占据相同范围，区域可以由独立的专题图层构成，这些专题图层都有自己的属性。因此一个综合图层是专题地图的集合，能选用不同指标进行查询。用这种方法，区域数据模型允许地图叠加（在 ARC/INFO 中最多允许 32 个图层叠加）使属性数据结合在一起，而用单一操作来进行属性数据查询。每

个区域图层都代表了一个空间比例尺，区域数据模型也能提供框架，用于分析空间比例尺对生态系统的影响，还可用于街区组、人口普查片和县等不同等级的人口普查数据的研究。

网络是由连线构成的图层，用于表示诸如交通等物流的相应属性。最短路径分析是基于网络的分析，其目的在于找出通过网络上的点的时间或距离的最小累积成本路径。其他与网络有关的分析包括配置(allocation)，它研究资源的空间分布，还有定位与配置(location-allocation)，它研究供求的空间分布。

动态分段将网络和线性量算系统(如里程标志系统)结合起来形成高级对象。因为运输规划者和工程师用线性量算来解决诸如事故位置、时速限制、交通量和道路状况等事件，动态分段可使这些事件与道路网络链接起来进行分析。

1.2.6 地理信息系统建模

模型是现象或系统的简化表达。**GIS 建模**指的是用 GIS 和空间数据建立分析模型。用于建模的一种很有用的 GIS 操作是地图叠加，它将不同变量的空间数据和属性数据组合成一幅综合地图。由于综合地图中每个地图要素代表了由位置选择的一系列数据特征，为了建模需要，综合地图可作进一步处理以提取新的信息。

各种分析模型的复杂程度差别较大。本书举出四种 GIS 模型：二值、指数、回归和过程模型。二值模型将综合地图转成二值地图，即将地图要素按是否满足一系列选择指标而区分开来。指数模型用综合地图的属性计算出指数值，用指数值来生成等级地图；回归模型显示综合地图上自变量和因变量间的统计关系；过程模型将有关现实世界环境过程的已有知识综合成一系列关系式和方程，以使过程定量化。

1.3 本书的结构

本书第 2 章到第 8 章讲述 GIS 的基础知识。第 2 章讨论地图投影、坐标系和投影转换(从一个坐标系到另一个坐标系)的概念。常见的地图投影如横轴墨卡托投影和兰勃特等角圆锥投影，常见的坐标系如通用横轴墨卡托(UTM)格网系统和国家平面坐标(SPC)系统及其参数都将在该章讨论。

第 3 章解释矢量数据模型，包括简单几何对象、高级对象和面向对象数据模型。同时该章还讨论地图比例尺、准确度和精确度等空间数据概念。第 4 章讲述已有数字化数据的使用以及由卫星影像、GPS 读数和纸质地图创建新的数据用于矢量数据输入。该章还讨论了元数据(关于数据的信息)、数据转换和几何变换。第 5 章讨论空间数据的编辑，并举例说明改正拓扑错误和定位误差的几种不同方法。第 6 章重点仍放在矢量数据，讨论了属性数据的输入和管理，内容包括关系数据库模型及其设计，关系数据模型的例子，以及属性数据的输入和核实。

第 7 章讨论栅格数据模型、用栅格格式表示的海量数据例如遥感数据、数字高程数

据、扫描地图和图形文件。该章还讨论了栅格数据结构、压缩、转换以及矢量和栅格数据相互转换的不同方法。第 8 章关注于数据显示和制图。数据显示尤其是通过地图进行显示，在 GIS 项目中有广泛的应用。第 8 章阐述地图符号、颜色和文字在制图中的应用，还讨论了地图设计的原则。

第 9 章概述数据探查。该章讲述了不同的查询方法，这些查询方法充分利用了基于 Window 的 GIS 在动态链接地图、图表的功能，同时阐述基于地图的地理可视化工具。

第 10 章到第 13 章构成数据分析的核心。第 10 章讨论了矢量数据分析，包括缓冲区分析、地图叠加、距离量算和地图操作。在地图叠加内容中还讨论了伪多边形和误差传递。第 11 章涉及用局域、邻域、分区和全局操作（包括实际距离量算、成本距离量算和空间自相关）进行栅格数据分析。第 12 章讲述用高程格网或 TIN 进行地形制图和分析，对不同的计算方法做了解释、举例和比较。第 13 章总结了空间插值方法，包括全局和局域两种。该章用一个小数据集来说明每种局域方法包含的算法。

第 14 章概述了 GIS 建模。该章引用许多不同学科的例子来解释建立二值、指数、回归和过程模型的原理。第 15 章述及区域的高级对象。讨论了区域在现实世界中的应用后，讲述在 ARC/INFO 中如何构建区域以及区域如何应用于数据分析。第 16 章阐述网络和动态分段。该章第一部分解释了网络的概念、网络的属性以及网络分析。第二部分叙述如何在 ARC/INFO 中构建动态分段模型，以及该模型如何用于数据查询和分析。

1.4 概念与实践

本书每一章分成两个主要部分。第一部分涉及该章中提到的主题和概念，第二部分涉及应用，通常有 3～5 个面向解决问题的习作任务。每一章还含有注释栏，提供了与该章主题相关的信息以及算法的实例。

本书强调概念与实践。GIS 概念解释了 GIS 操作的目的和目标以及 GIS 操作之间的相互关系。例如，对地图投影概念有了基本理解后，我们才会明白为什么必须把要放在一起使用的地图图层都投影到同一个坐标系，为什么必须输入许多投影参数。我们关于地图投影的知识是长存的，它不会因为技术的改变而改变，也不会因为 GIS 软件包的更新而过时。

对大多数 GIS 用户而言，GIS 是一个解决问题的工具（Wright 等　1997）。为了能正确、有效地应用这个工具，GIS 用户就必须能熟练运用它。对需键入命令的 GIS 软件包而言，最常听到抱怨就是太难学了，图形用户界面已经大大改善了人机交互作用，但新的问题出来了，那就是如何编排不同文件、菜单、按钮和工具的功能。

在数学和统计学教科书中，练习是一项常规要素，我们要想熟练应用 GIS 工具，练习是惟一的方法。同时练习也能帮我们更好理解 GIS 概念。例如，均方根误差（RMS），用于度量地图或影像的几何变换过程中控制点的优劣，它的数学意义很难理解，但经过运行几次控制点选择（或数字化）并执行几何变换后，就变得容易理解多了。均方根误差的变化揭示了这个概念是如何运作的。

GIS 教材的练习部分书需要数据集和 GIS 软件。本书所用的许多数据集来自 10 年以来在爱达荷大学 GIS 班的教学内容。练习部分中的多数练习用 ArcView 3.2 及其扩展模块例如空间分析和网络分析模块。当 ArcView 无法实现所需的功能，如纠正拓扑错误、创建和分析区域和使用动态分段数据模型时，才用到 ARC/INFO（ArcInfo 8 中的 ArcInfo 工作站）。注意练习部分没有用基于 Window 的软件包如 ArcInfo 8 中 的 ArcCatalog、ArcMap 和 ArcToolbox，因为它们不能用于诸如纠正拓扑错误的一些练习。

ArcView 和 ARC/INFO 是市场上最流行的 GIS 软件，当两者结合在一起就形成了 GIS 功能最全面的组合。练习部分除了采用 ArcView 和 ARC/INFO 外，必要时本书也用它们来解释各章涉及的内容。其他 GIS 软件在书中用于比较时作参考。

重要概念和术语

不规则三角网(TIN)：用一系列互不重叠的三角形来近似表示地形的数据模型。

地理参照数据：描述地球表面空间要素的位置及其属性的数据。

地理可视化：用地图进行数据探查和可视信息处理。

地理相关模型：用两个独立的但又相互联系的文件系统来分别存储空间数据和属性数据的 GIS 软件包。

地理信息系统(GIS)：可输入、存储、查询、分析和显示地理数据的计算机系统。

地图投影：从球面地理格网到平面坐标系的转换过程。

动态分段：建立在线图层的弧段基础上的数据模型，可用现实世界坐标系进行线性量算。

GIS 建模：用 GIS 对空间数据建模的过程。

关系数据库：表的集合，可通过属性相互连接，该属性的值能惟一确定表中的一个记录。

空间插值：用已知属性值的控制点来估算其他点的值的过程。

空间数据：描述空间要素的几何特性的数据。

离散要素：观测值不连续的空间要素，形成独立的实体，可逐个识别。

连续要素：观测值连续的空间要素。

面向对象的数据模型：用对象来组织空间数据的数据模型。一个对象就是一个实体，例如一个地块，它有一系列的属性并能按要求执行一定的操作。

区域：多边形的集合，彼此间可以是连接的，也可以是不连接的。

栅格数据模型：用格网来表示要素空间变化的空间数据模型。

Shapefile：ESRI 用该术语表示不具拓扑关系的矢量数据。

矢量数据模型：用点及其 x、y 坐标来构建点、线和面等空间要素的空间数据模型。

数据探查：以数据为中心的查询和分析。

属性数据：描述空间要素特性的数据。

图层(Coverage)：ESRI 用该术语表示基于矢量的具拓扑关系的数字地图。

拓扑：数学的一个分支，GIS 中用拓扑来确保要素的空间关系能明确地表达。

应用：入门

本章应用部分包括 2 个习作。习作 1 是 ArcView 及其使用入门，习作 2 是 ARC/INFO 及其使用入门。

习作 1 ArcView 入门

所需数据：emidalat，一个高程格网文件，emidastrm.shp，一个河流 shapefile 文件。

习作 1 是一个简单练习，将格网格式的高程图和 shapefile 格式的河流图加到视图中。因为格网格式高程图包括栅格数据，你需要使用 Spatial Analyst 扩展模块来显示。

1. 启动 ArcView。ArcView 创建了一个空的 Project，并打开 Project 窗口。为了加载 Spatial Analyst 扩展模块，点击 File 下拉菜单并选择 Extensions。Extensions 对话框列出了计算机上装有的扩展模块，每个模块旁都有一个复选框。点击 Spatial Analyst，一条短信息出现在下方，它描述了 Spatial Analyst 的功能。对 Spatial Analyst 打钩，点击 OK。
2. ArcView 以等级结构组织它的对象。一个 Project 可使用 5 个文件：View、Table、Chart、Layout 和 Script。View 显示地图，Table 显示表格数据，Chart 用图表显示数据，Layout 用于生成地图和数据显示，Script 用 Avenue 语言编写宏(程序)。每个文件都有自己的窗口，习作 1 要你用 View 和 Table 进行操作。在 Project 窗口点击 View，若 View 尚未高亮显示，则点击 New。这样就打开了一个名为 View1 的视图窗口。
3. 在 ArcView 中每个文档都有其自己的菜单、按钮和工具，在窗口顶端排成三行，它们为用户提供了 ArcView 界面。按钮和工具是图标形式，代表了常用的菜单项，点击便能执行某种功能。点击后，工具按钮呈凹下状态，直到你再次点击或对激活的文件操作前，呈锁定状态。用鼠标将光标移到图标上时，名为 ToolTip 的短信息以一浮动黄色方框形式出现，告诉你该图标的功能。
4. 点击 View 菜单，出现下拉菜单和菜单选项。一些选项是清晰的，说明它们处于激活状态，而另一些是模糊的，说明它们尚不能用。从 View 菜单选择 Add Theme，或点击 Add Theme 按钮。Add Theme 对话框允许你选择一个或若干个专题加到视图。ArcView 用专题(Theme)这一术语表示一系列与属性相关的地图要素。Emidalat 是一个格网专题，emidastrm.shp 是一个要素专题。
5. Add Theme 对话框显示驱动器、路径和数据源类型。首先，由驱动器和路径浏览到 emidalat 和 emidastrm.shp。选择 Grid Data Source 为数据源类型，双击 emidalat 使之加到视图。再次点击 Add Theme 按钮，这次选择 Feature Data Source 为数据源类型，并将 emidastrm.shp 加到视图中。
6. emidastrm.shp 和 emidalat 在 View1 窗口左侧的目录中出现。为了显示这些图

层，在 emidastrm.shp 和 emidalat 旁的复选框打钩。ArcView 将最后加入视图的专题图放在目录的最顶端，可通过拖动专题图到一个新位置来改变排列顺序。

7. 点击目录中的 emidastrm.shp 以激活它。激活的专题会凸起显示。从 Theme 菜单中选择 Table，打开名为 emidastrm.shp 属性表，可显示与 emidastrm.shp 有关的属性（emidalat 没有主题表，因此 Table 菜单是模糊的）。
8. 欲退出 ArcView，首先关闭所有的文件和项目，从 File 下拉菜单中选择 Close All 以关闭所有文件，从 File 菜单中选择 Close Project，并选择不存盘；再从 File 下拉菜单选择 Exit 以退出 ArcView。

习作 2 ARC/INFO 入门

所需数据：emidalat，一个高程格网文件；breakstrm，一个河流图层文件。

本章前已提到本书练习部分只用到 ArcInfo 8 中的 ArcInfo 工作站，它与 ARC/INFO 7.x 版本一样，可在 Windows 2000、Windows NT 或 UNIX 上运行。ARC/INFO 通过键入命令来运行各项功能，它将命令组织成模块，如 Arc、ArcPlot、ArcEdit 和 Tables。Arc 是启动模块；ArcPlot 用于显示图层(coverages)、格网(grids)和不规则三角网(TINs)；ArcEdit 包括编辑功能；Tables 可对表或 INFO 文件进行操作。当用 ARC/INFO 工作时，必须根据你的任务需要，在各模块之间切换。

习作 2 用 ARC/INFO 显示 emidalat 和 breakstrm。breakstrm 显示了与习作 1 中 emidastrm.shp 相同的河流，不同之处在于 breakstrm 是 ARC/INFO 的图层格式。

1. 启动 ARC/INFO 或 ArcInfo 8 中的 ArcInfo 工作站。Arc 提示符出现后，用 WORKSPACE（或 W）命令将路径改变到 emidalat 和 breakstrm 所在处。
2. 首先，你必须进到 Arcplot 并设置环境参数以显示 emidala 和 breakstrm，命令如下：

   Arc：arcplot

   Arcplot：display 9999 /* 指定显示设备为计算机显示器

   Arcplot：mapextent emidalat /* 指定 emidalat 的地图范围

   注：为了解释命令的功能，本书在“/*”后附对命令的解释。
3. 下一个命令用一个字段（采用本例的值）和一个查找表(emidalat.lut)来显示 emidalat：

   Arcplot：gridpaint emidalat value emidalat.lut /* 用高程带显示 emidalat

   Arcplot：arclines breakstrm 3 /* 用绿色显示 breakstrm

   注：查找表如 emidalat.lut 指定了每个高程带的符号。
4. 用 QUIT 退出 Arcplot 和 Arc：

   Arcplot：quit

   Arc：quit

参考文献

Broome, F.R., and D.B. Meixler. 1990. The TIGER Data Base Structure. *Cartography and Geographic Information*

Systems 17: 39—47.

Chrisman, N. 1988. The Risks of Software Innovation: A Case Study of the Harvard Lab. *The American Cartographer* 15: 291—300.

Coppock, J. T. 1988. The Analogue to Digital Revolution: A View from an Unreconstructed Geographer. *The American Cartographer* 15: 263—275.

Crockett, M. 1997. GIS Companies Race for Market Share. *GIS World* 10 (11): 54—57.

Dent, B. D. 1999. *Cartography: Thematic Map Design*, 5th ed. Dubuque, Iowa: WCB/McGraw-Hill.

McHarg, I. L. 1969. *Design with Nature*. New York: Natural History Press.

Rhind, D. 1988. Personality as a Factor in the Development of a Discipline: The Example of Computer-Assisted Cartography. *The American Cartographer* 15: 277—289.

Tomlinson, R. F. 1984. Geographic Information Systems: The New Frontier. *The Operational Geographer* 5: 31—35.

Wright, D. J., M. F. Goodchild, and J. D. Proctor. 1997. Demystifying the Persistent Ambiguity of GIS as "Tool" versus "Science." *Annals of the Association of American Geographers* 87: 346—362.

第2章 地图投影和坐标系统

2.1 引 言

GIS 用户在平面上对地图要素进行处理。这些地图要素代表地球表面的空间要素。地图要素的位置是基于坐标系的，而空间要素的位置是基于用经纬度值表示的地理格网的。本章的主题为**地图投影**，即从地理格网到坐标系的转换。

GIS 的一个基本原则是用在一起地图图层必须基于相同坐标系。但要实现这个原则，却十分复杂，因为实际上不同地图制图者和不同 GIS 数据生产者使用数百种不同的坐标系。例如，图 2.1 显示从互联网上下载的爱达荷和蒙大拿道路图。显然这两张道路图无法匹配在一起，因为它们基于不同的坐标系，这导致了路网重叠在一起。为了使它们可用，这两张图必须转到同一坐标系上。

越来越多的 GIS 用户开始从互联网下载数字地图或从政府部门和私人公司获取。一些数字地图用经纬度值度量，另一些用不同的坐标系，这些坐标系只适用于各自的 GIS 项目。如果这些数字地图要放在一起使用，那么使用前必须先经过处理。

这里所说的处理指的是投影和重新投影。投影是将数字地图从经纬度值转成二维坐标，**重新投影**指的是从一种坐标系转成另一种坐标系，通常投影和重新投影属于一个 GIS 项目的前期任务。

本章分成四个部分：第一部分讲述地理格网，第二部分讨论地图投影和不同地图投影所需的参数，第三部分涉及基于地图投影的坐标系，第四部分用 ArcView 作为例子，讨论 GIS 软件包中的投影功能。

2.2 地理格网

地理格网是地球表面空间要素的定位参照系统（图 2.2）。地理格网由经线和纬线组成，**经线**指通过地轴的平面和地球表面相交的大圆弧线的一半，经线呈南北方向，同一经线上各点的经度相同。地球每 24h 绕地轴完成 360°自转。将通过英国格林威治的经线作为本初子午线或 0°经线，地球表面一个地点的经度值从本初子午线开始向东或向西，分别由 0°～180°之间量测。**纬线**指的是与地轴垂直的平面与地表相交而成的圆，所有纬线都相互平行。地球表面某点的纬度值可从赤道向南或向北分别由 0°～90°之间量测。

虽然用于球形的地球表面，但地理格网与平面坐标相似，地理格网的原点是本初子午线与赤道的交点。经度值相当于坐标系统的 x 值，纬度值相当于 y 值。因此经度和纬度值相应置于 x 轴和 y 轴。

GIS 中很容易输入带正（默认值）或负号的经度和纬度值。赤道以北的纬度值为正，以

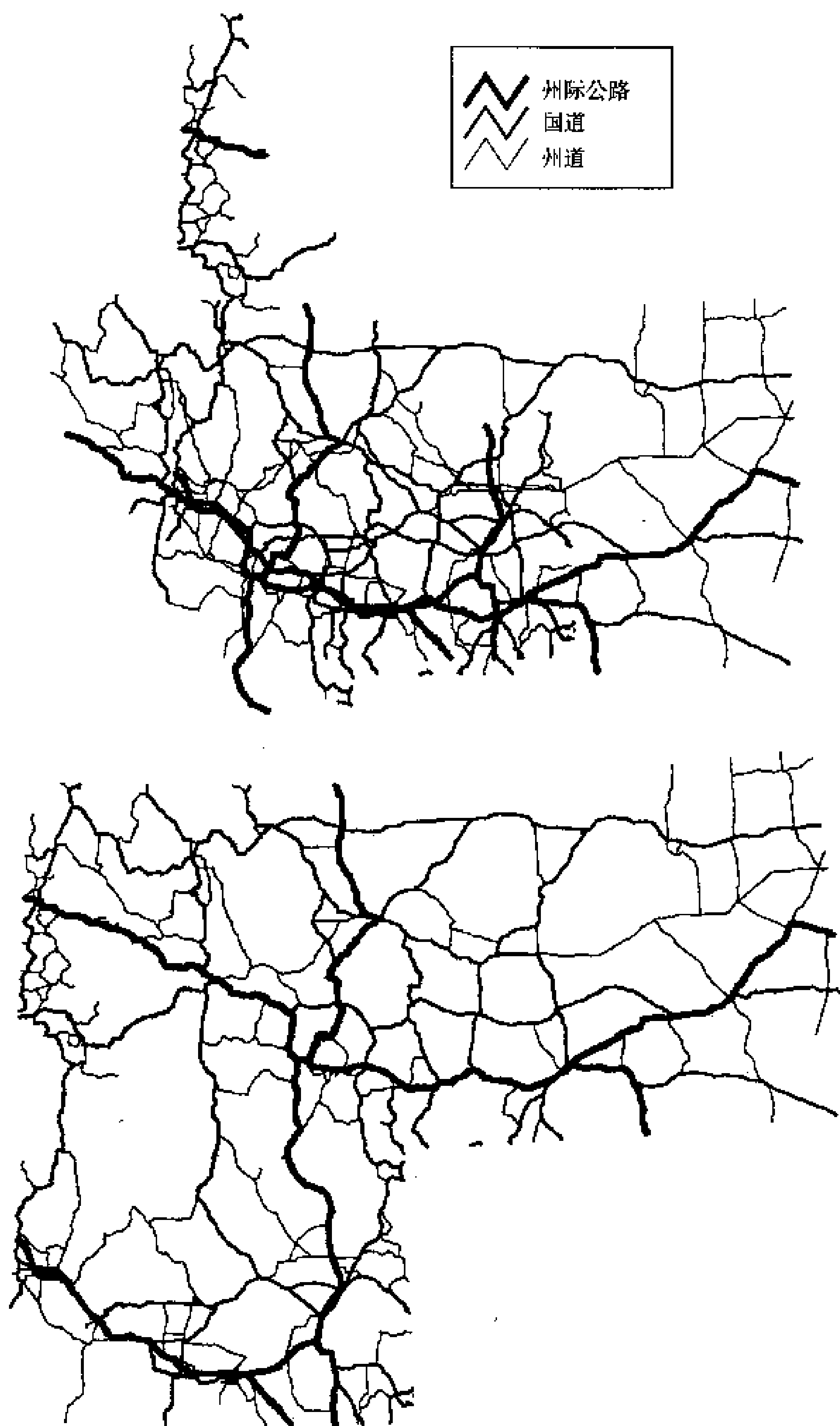


图 2.1　上图显示爱达荷和蒙大拿基于不同坐标系统的两张幅路图层。下图显示基于相同坐标系统的道路图层。

南为负，东半球经度值为正，西半球为负。经度值和纬度值可用**度-分-秒（DMS）**表示或用**十进制表示的度数（DD）**形式表示。1 度等于 60 分，1 分等于 60 秒，两种表示方法间的转换有点麻烦，例如，纬度值 45°52′30″等于 45.875°。

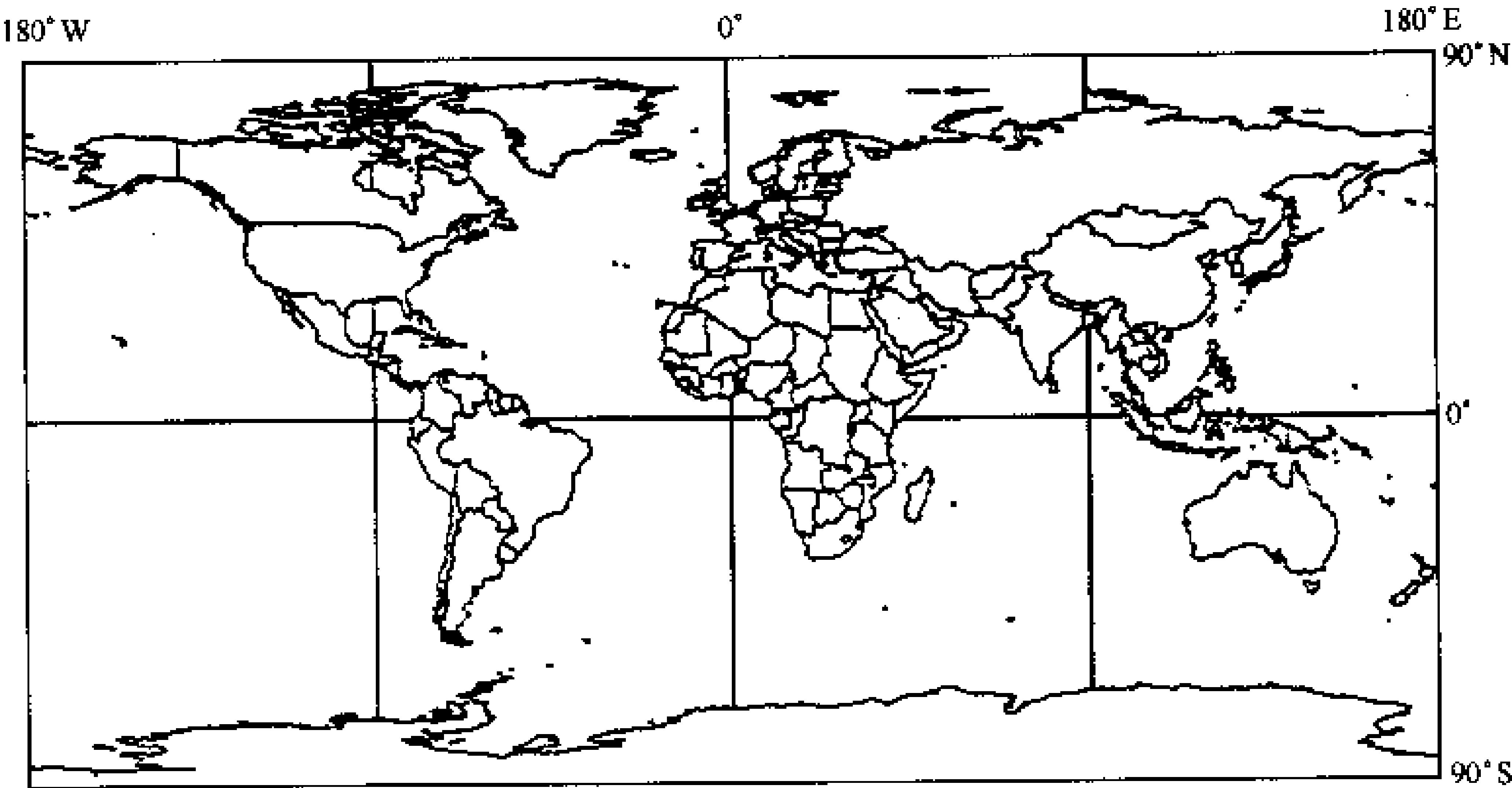


图 2.2　地理格网。

2.3　地 图 投 影

地图投影是从球形的地球表面到平面的转换（Robinson 等　1995，Dent　1999）。转换的结果是用平面上的线构成的体系来代表地理格网。除了可用纸质地图和数字地图，地图投影使地图用户的工作建立在二维坐标基础上，而不是球面或三维坐标上，球面或三维坐标在量测和计算上要复杂得多（注释栏 2.1）。但从地球表面到平面的转换总是带有变形，没有一种地图投影是完美的。这就是为什么发展了数百种地图投影用于地图制图的原因(Maling　1992，Snyder　1993)。每种地图投影都保留了某些空间性质，而牺牲了另一些性质。

注释栏 2.1	**如何在球面上量算距离**

可用三角函数计算球面上两点间的距离：

$$\cos D = \sin a \sin b + \cos a \cos b \cos c$$

式中：D 是点 A 和 B 的距离（以度表示）；a 是 A 点的纬度；b 是 B 点的纬度；c 是 A 点和 B 点的经度差。为将 D 转换成线距离单位，可将 D 乘以赤道上一度的长度，即 111.32km 或 69.17mi。

上述方法比在坐标系中量算距离难得多，坐标系中量算距离用如下方程：

$$D = [(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2]^{\frac{1}{2}}$$

式中：x_i和 y_i是点 i 的坐标。

制图者通常根据地图投影所保留的性质将其分成四类：等角、等积或等积、等距、等方向或真方位。**等角投影**保留了局部形状，**等积投影**用正确的相对大小显示面积，**等距投影**保持某些距离的比例尺不变，**等方位投影**保持某些准确方向。等角和等积两种性质是相互

排斥的，否则一个地图投影所能保留的性质就不只一种，例如，会同时保留等角和等方向。等角和等积的性质是全局性质，即可应用于整幅地图投影。等距和等方位性质是局部性质，只能在距地图投影中心较近的地方实现。地图投影的名称通常包含它所能保留的性质，例如，兰勃特等角圆锥投影或阿伯斯等积圆锥投影。

制图者通常用几何体来说明地图投影的原理（图 2.3）。例如，将一圆柱体与一发光的球体相切，球体上的经线和纬线映射到圆柱体上就构成了投影。本例中圆柱体是投影面，球体称为**参考椭球**。其他常见的投影面包括圆锥和平面。以圆柱面为投影面的投影称为**圆柱投影**，以圆锥面为投影面的投影称为**圆锥投影**，以平面为投影面的投影则称为**方位投影**。

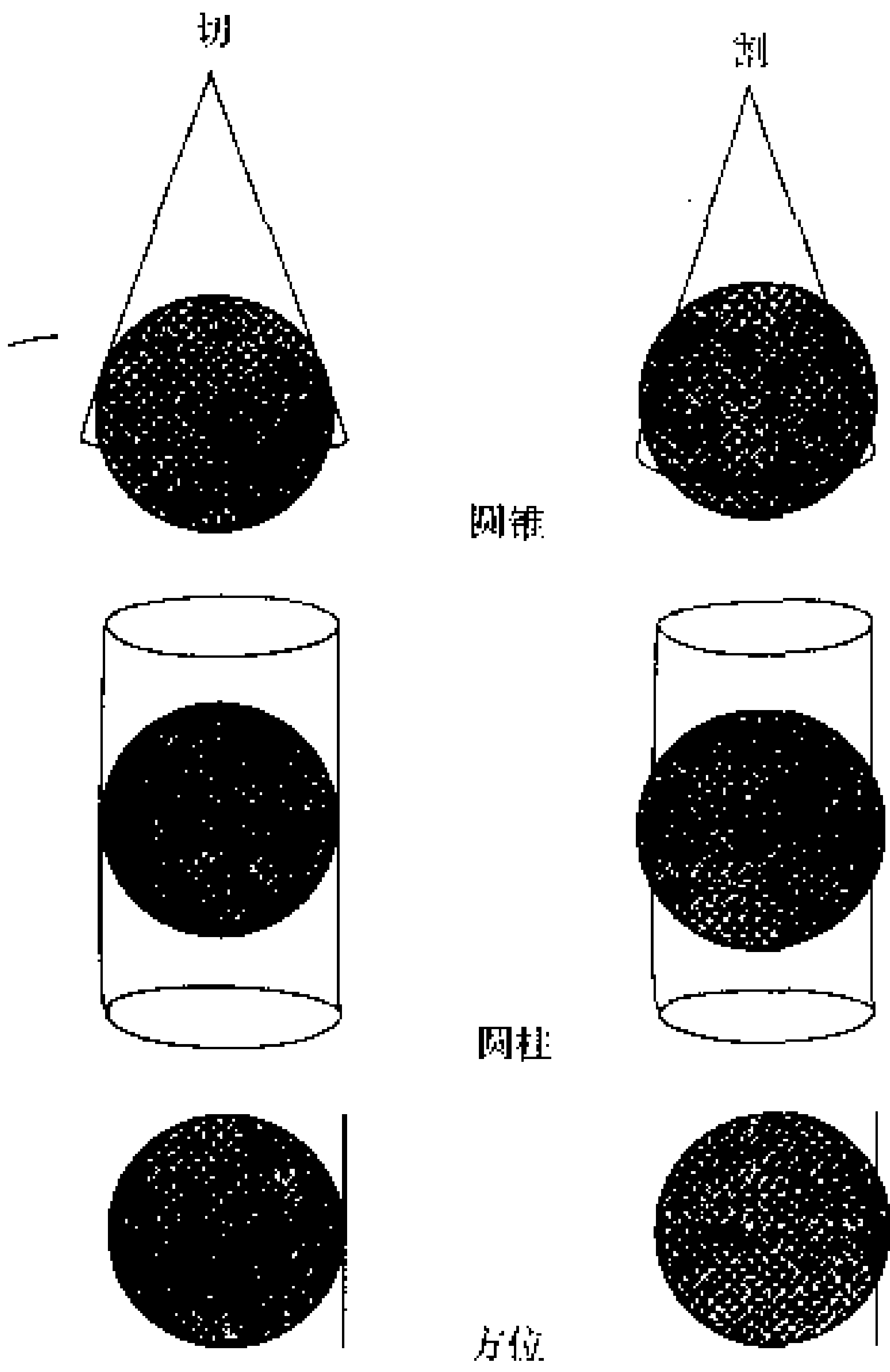


图 2.3　几何体在构建地图投影中的应用。

用几何体还有助于解释地图投影中的另外两个概念：切割情况和投影方位。以圆锥投影为例，我们可使圆锥与椭球相切，也可以使圆锥与椭球相割（图 2.3）。相切情况下产生了一条相切的线，相割情况下产生了两条相切的线。圆柱投影的相切、相割情况与圆锥投影相似。与前两者相反，方位投影在相切情况下有一个切点，在相割情况下有一条切线。投影方位则描述了几何体与椭球的位置关系。例如，方位投影中作为投影面的平面可与椭球上的任何点相切（图 2.4）。正方位指的是投影面与椭球在极点相切，横方位指的是在赤道相切，斜方位指的是在除赤道和极地外的任何一点相切。

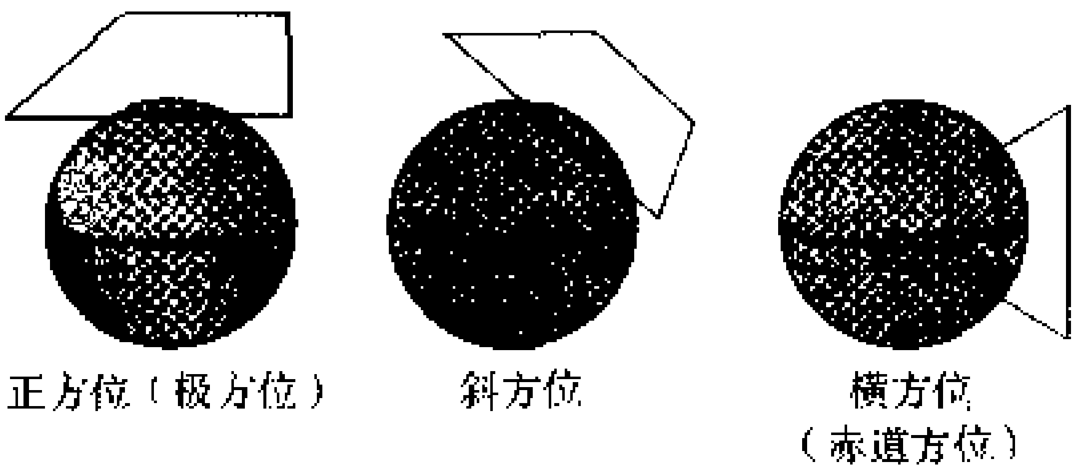


图 2.4　方位与地图投影。

标准线指的是投影面与参考椭球的切线。对于圆柱和圆锥投影，相切时只有一条标准线，而相割时则有两条标准线。如果标准线沿纬线方向则称为**标准纬线**，如果沿经线方向则称为**标准经线**。标准线上没有投影变形，因为它与参考椭球的比例尺相同。标准线的另一种描述方式是它的比例系数为 1。**比例系数**是指局部比例尺与参考椭球比例尺或**主比例尺**的比值。比例系数为 1 意味着标准线的比例尺与参考椭球的比例尺相同。标准纬线有时称为真比例尺纬线。距离标准线越远，投影变形程度越大。

不要将标准线与**中心线**混淆起来。标准线指明投影变形分布的模式，而中心线(中央纬线和中央经线)定义了地图投影的中心或原点。中央纬线，有时称作原点纬线，通常与标准纬线不同。与此类似，中央经线通常与标准经线也不相同。一个说明中央经线和标准线之间差异的极好例子是横轴墨卡托投影。横轴墨卡托投影通常是割投影，它由中央经线和位于其两侧的两条标准线所定义，标准线的比例系数为 1，而中央经线的比例系数小于 1（图 2.5)。

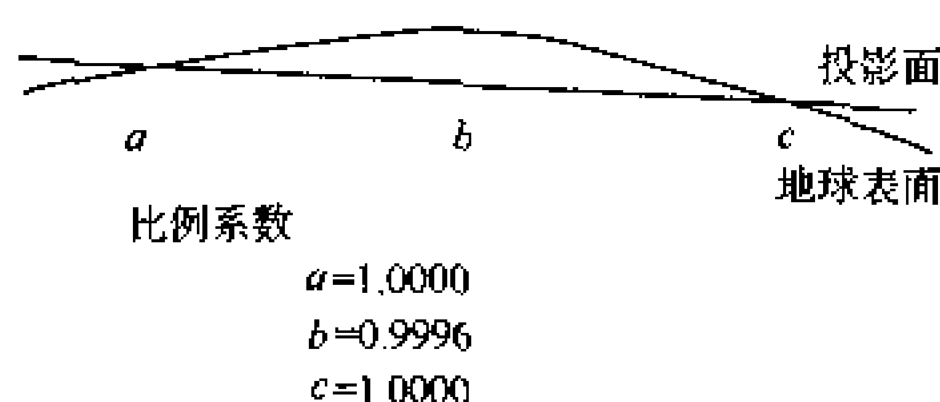


图 2.5　在这个正割横轴墨卡托投影中的中央经线的比例系数是 0.9996。中央经线两侧的两条标准线的比例系数是 1。

在一个 GIS 项目中，地图投影能直接用做坐标系。由中央纬线和中央经线确定的地图投影中心，成为坐标系的原点，并将坐标系分成四个象限。一个点的 x、y 坐标要么是正的，要么是负的，这取决于该点落于何处(图 2.6)。为了避免出现负的坐标值，GIS 用户可对 x 坐标进行**横坐标东移**，对 y 坐标进行**纵坐标北移**。更重要的是，横坐标东移和纵坐标北移使坐标系的原点移到原坐标系的西南象限，这样所有的点都将落在新坐标系的东北象限，坐标值为正。横坐标东移和纵坐标北移在地图投影中是可选参数。

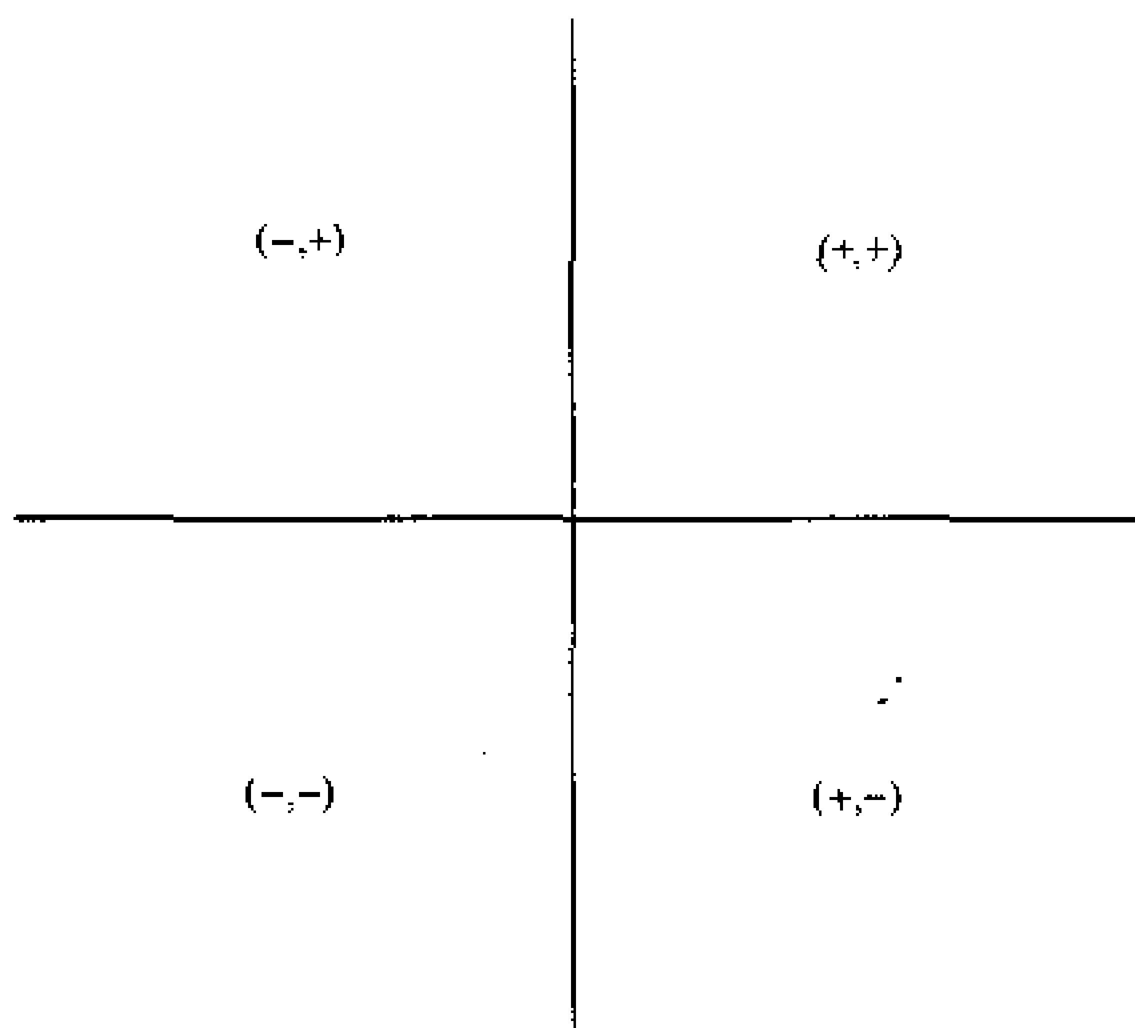


图 2.6　中央纬线和中央经线将地图投影分成四个象限。北东象限各点的 x 和 y 坐标值均为正，北西象限各点的 x 坐标值为负，y 坐标值为正，南东象限各点的 x 坐标值为正，y 坐标值为负，南西象限各点的 x 和 y 坐标值均为负。

基于假定原点的 x、y 坐标在数值上通常很大，例如，爱达荷东莫斯科标准地形图图幅(quad)的西北角，其 UTM 坐标是 500 000 和 5 177 164 m。为了保持用坐标值进行计算的数据精度，对所有的坐标读数减去 x-平移 和 y-平移的值，这样可以减少坐标值阿拉伯数字的位数。因此，如果该图幅的 x-平移值设为2 500 000m，y-平移值设为 25 170 000 m，则西北角的坐标分别变成 0 和 7164m。因为 **x-平移**和 **y-平移**，或者说横坐标东移和纵坐标北移，改变了数字地图上 x、y 坐标的值，所以这些改变应该记录在元数据(关于数据的数据)中，特别是要与其他用户共享地图的时候。

最后，为了帮助用户从众多地图投影中进行选择，制图者有时根据地图投影对世界、半球、洲、国家或区域显示的效果来对地图投影进行分类，例如 ArcView 用这种方法与预定义的地图投影来进行分类。

2.3.1 常用的地图投影

1. 横轴墨卡托投影

横轴墨卡托投影是墨卡托投影的一种变种，可能是世界上最有名的投影。墨卡托投影用的是标准纬线，而横轴墨卡托投影用的是标准经线。后面会讨论到，横轴墨卡托是两种常用坐标系的基础。该投影要求下列参数：中央经线的比例系数、中央经线的经度，原点(或中央纬线)的纬度、横坐标东移假定值和纵坐标北移假定值。

2. 兰勃特等角圆锥投影

对于东西伸展大于比南北伸展的中纬度地区，用**兰勃特等角圆锥**投影是一个很好的选择，例如美国本土或蒙大拿州(图 2.7)。作为割投影，投影参数通常包括第一和第二标准纬线、中央经线、投影原点的纬度、横坐标东移假定值和纵坐标北移假定值。

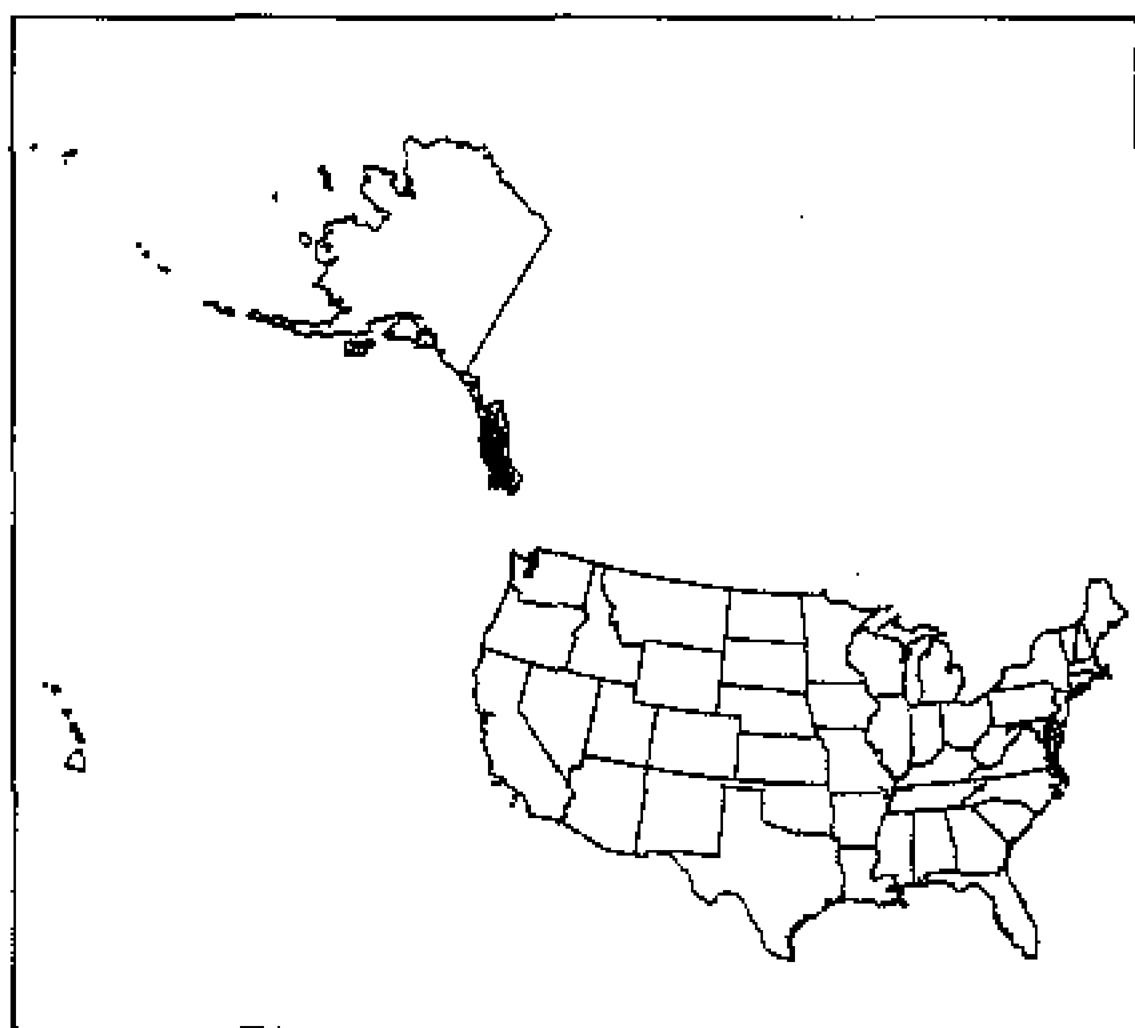


图 2.7 美国的兰勃特等角圆锥投影。中央经线是 96°W，两条标准纬线是 20°N 和 60°N，投影原点的纬度是 40°N。

3. 阿伯斯等积圆锥投影

阿伯斯等积圆锥投影要求的参数与兰勃特等角圆锥投影相同。实际上两个投影看起来很相似,不同之处在于一个是等积而另一个是等角。

4. 等距圆锥投影

等距圆锥投影也称为简单圆锥投影。该投影保持了所有经线和一或两条标准线上的距离性质。它所用的参数与阿伯斯等积圆锥投影相同(图 2.8)。

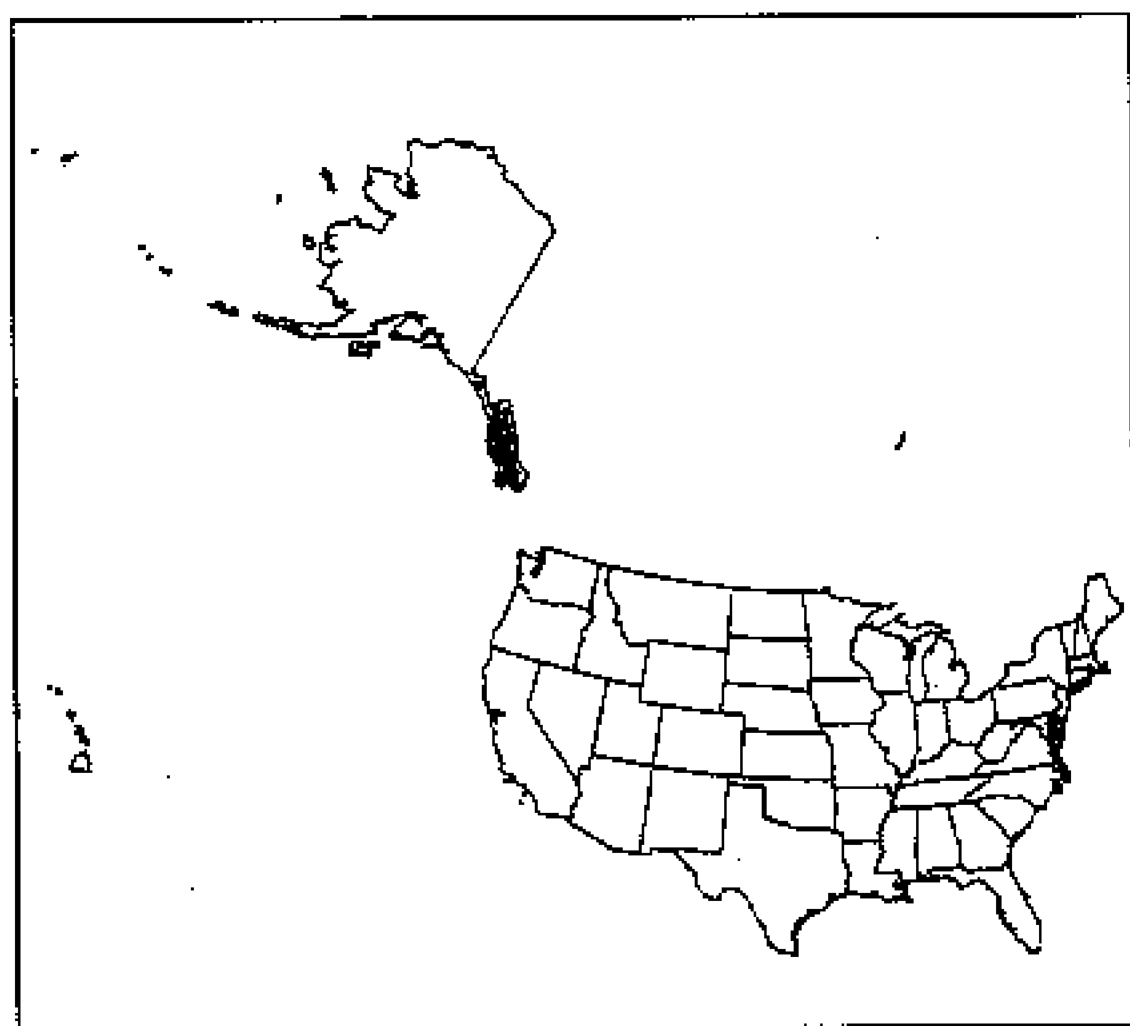


图 2.8 美国的等距圆锥投影,投影参数与图 2.7 的兰勃特等角圆锥投影相同。两种投影的不同在这种印刷比例尺上未显示出来。

2.3.2 基准面

至此,我们已经研究了不同的地图投影及其所需参数。我们还需要研究另外两个地图投影中的参数:**椭球体和基准面**。椭球体是地球的近似模型。因为地球赤道方向上更宽,所以椭球体在赤道方向有一长轴,在连接两极的方向上有一短轴。椭球体也称为**椭球**,即椭圆沿短(极)轴旋转一圈形成的球体。为惟一确定一地的地理坐标,必须用基准面来确定地球与椭球体间的关系(Moffitt 等 1998)。换句话说,用于近似表示地球的椭球体不同,基准面也不同。

直到近年,**克拉克椭球 1866**,一个大地测量椭球体,成为美国地图绘制的标准椭球体。克拉克椭球 1866 的长半轴(赤道半径)和短半轴(极半径)分别为 6 378 206.4m 和 6 356 583.8m (图 2.9)。从全球尺度来看,两轴的差异很小,但它影响大比例尺制图。**NAD27** (1927 年北美基准面) 建立在克拉克椭球

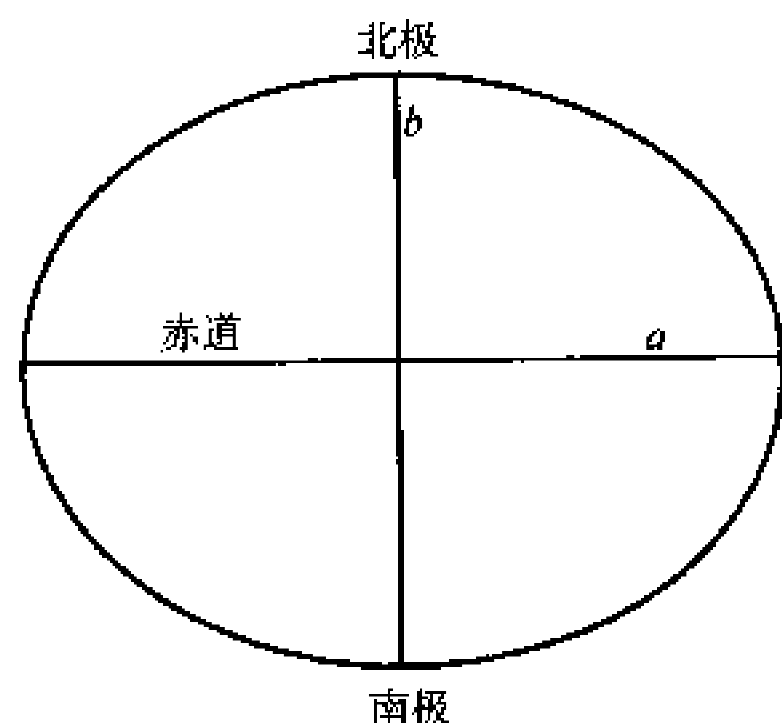


图 2.9 长半径用 a 表示,短半径用 b 表示。

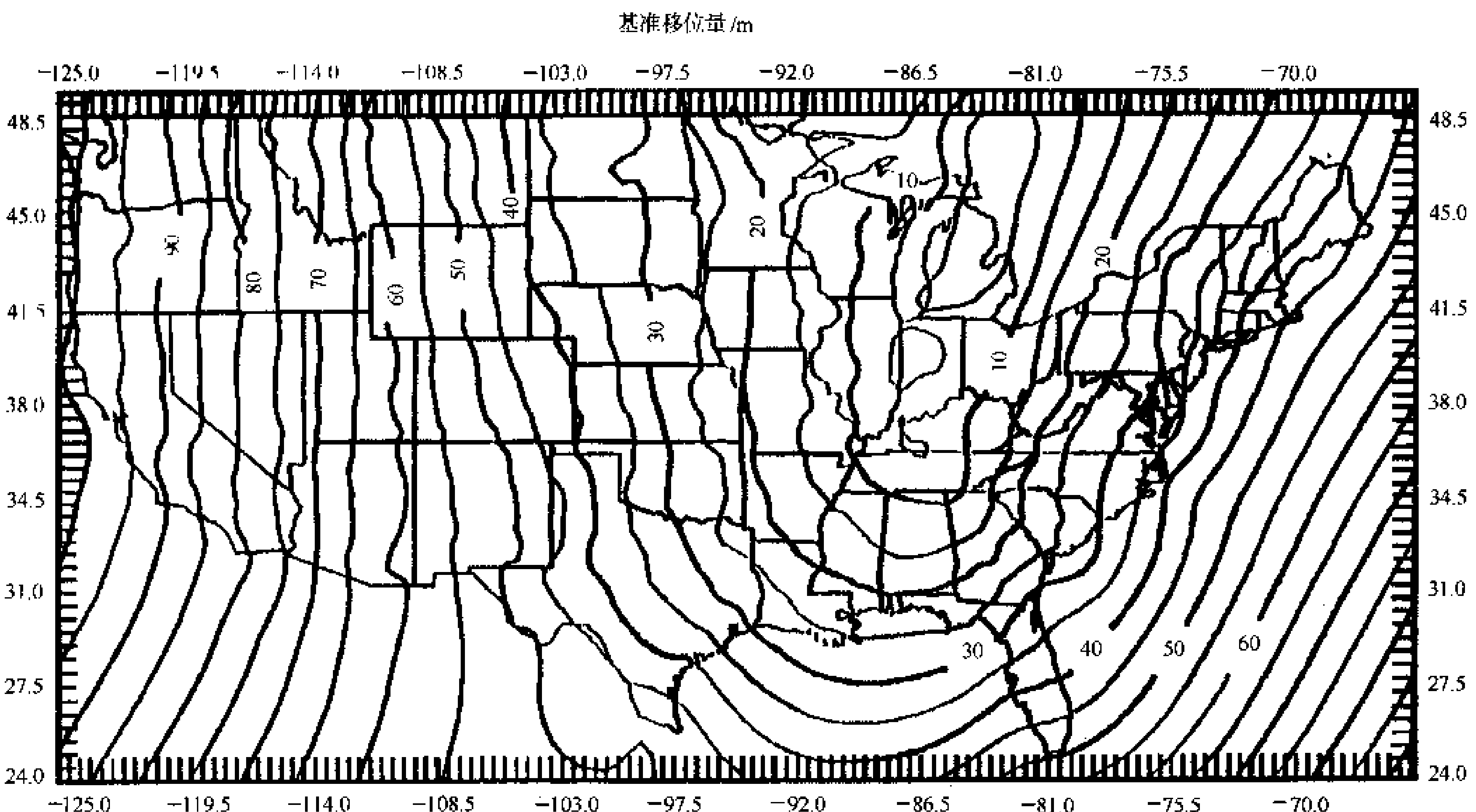


图 2.10 以米表示的从 NAD27 到 NAD83 的平移量（经国家人地测量局许可）。

1866 的基础上，其中心位于堪萨斯州的 Meades Ranch。

然而，近年来卫星控制测量(Satellite-determined)椭球体开始取代大地测量椭球体。WGS84（全球大地测量系统 1984）是由卫星轨道数据来确定的椭球体，它的长半径是 6 378 137.0m，短半径是 6 356 752.3m。在地图制图上，WGS84 与 GRS80（大地测量参照系统 1980）椭球体很相似。NAD83（北美测量基准 1983）建立在 WGS84 或 GRS80 椭球体基础上，并从椭球体中心开始量算。

在美国，GIS 数据提供者正将数据的基准面从 NAD27 转成 NAD83。NAD83 不仅更精确，并与全球网络和 GPS（全球定位系统）测量的联系更紧。NAD27 和 NAD83 间的水平移位比较固定(图 2.10)。美国本土上的点的位置可能在 10～100m 范围内变动，在阿拉斯加，则会超过 200m，在夏威夷，则会超过 400m。例如，在华盛顿的奥林匹克半岛上的 Ozette 标准图幅，向东平移 98m，向北平移为 26m。GIS 用户必须十分小心所用的基准面，因为只有完成从 NAD27 到 NAD83 的转换，基于这两个不同基准面的数字地图才能正确配准。

2.4 坐标系

地图投影为小比例尺地图制图提供了工作底图，例如绘制 1∶1 000 000 或更小比例尺的世界或大洲地图，因为小比例尺地图制图强调地图投影变形，所以应该选择合适的投影以保留所需的性质。例如，为了正确反映人口的压力，世界人口地图应该用等积投影，而不是等角投影。

平面坐标系一般用于大比例尺地图制图例如 1∶24 000 或更大比例尺。坐标系设计是用于精确计算和定位的，因此，要素的绝对位置和它与其他要素的相对位置的精度比地图投影所保留的性质更重要。为了达到所需的测量精度，一个坐标系通常分成不同的带，每个带基于不同的地图投影。美国通常用四种坐标系：通用横轴墨卡托格网系统(UTM)、通用极射格网系统(UPS)、国家平面坐标系统(SPC)和公用土地调查系统(PLSS)。

2.4.1 通用横轴墨卡托格网系统

UTM 格网系统适用于全世界范围，将 84°N 到 80°S 的地球表面分成 60 个带，每个带覆盖六个经度，并从 180°W 开始编为第一带，依序编号。图 2.11 显示了美国本土的 UTM 分带。

60 个 UTM 带都用通用横轴墨卡托投影制图，中央经线的比例系数为 0.9996，两条标准经线分别距中央子午线以西和以东 180 km。每个 UTM 带都有一个假定原点，在北半球，UTM 坐标是从位于赤道和中央经线以西 500 000m 的假定原点开始计算；在南半球，UTM 坐标从位于赤道以南 10 000 000m、中央经线以西 500 000m 的假定原点开始计算。UTM 格网系统保持精度至少为 1∶2500（即 UTM 格网系统上 2500m 的距离量测与真实距离的误差在 1m 以内)。

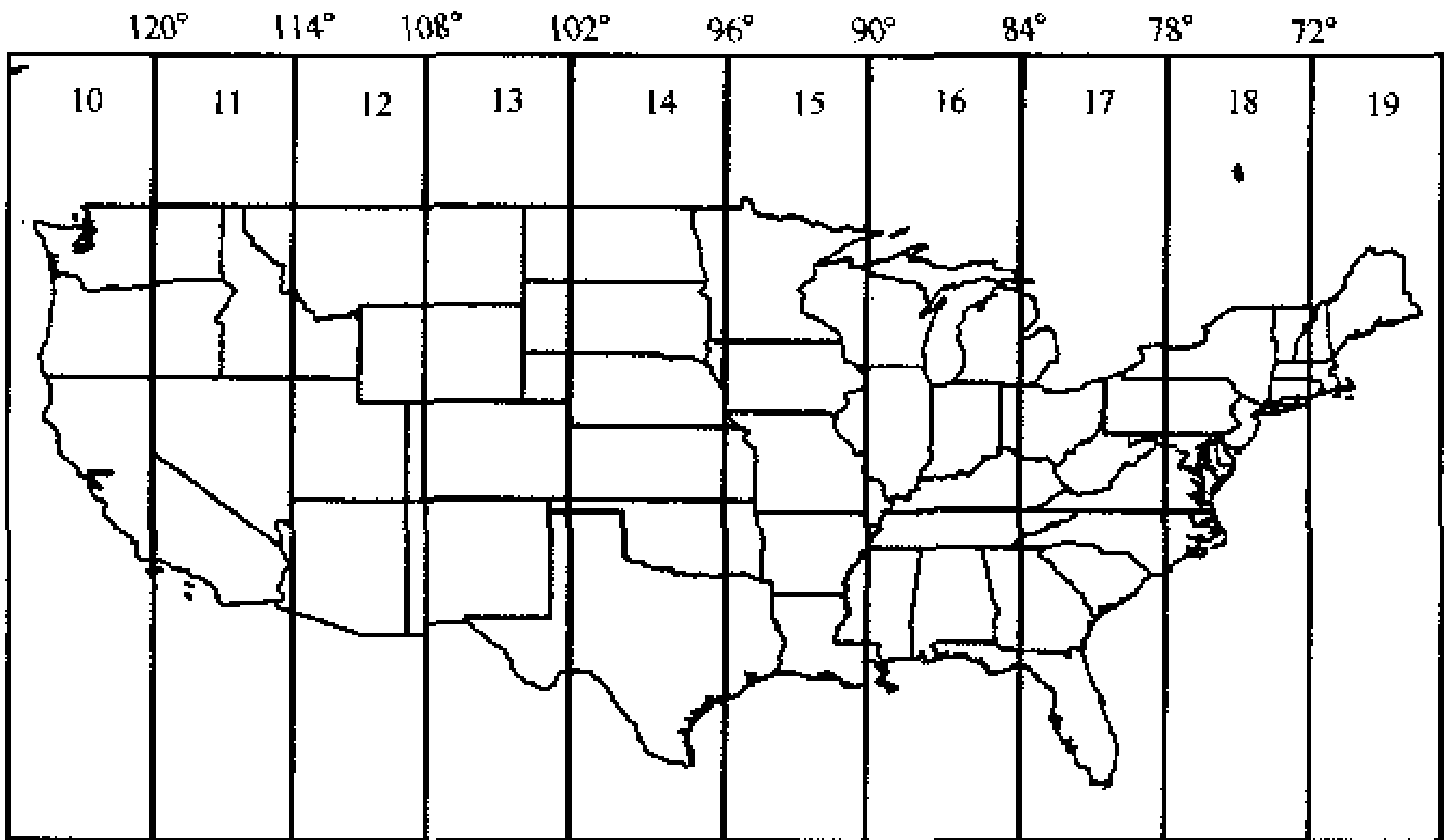


图 2.11　美国本土的 UTM 分带。

2.4.2　通用极射格网系统

UPS 格网系统覆盖了极地地区。与 UTM 格网系统相似，极射投影以极点为中心，并将极地地区分成一系列 100 000m² 的地区。

2.4.3　国家平面坐标系统

SPC 系统是在 20 世纪 30 年代发展起来，用于永久记录美国最初土地调查界碑位置(original land survey monument locations)。为了保持 1∶10 000 或更大比例尺的精度，一个州可能有两个或多个 SPC 分带（图 2.12）。例如，俄勒冈州有北和南两个 SPC 带，爱达荷有西、中和东 SPC 带。每个 SPC 带都有一个地图投影。横轴墨卡托投影适用于南北方

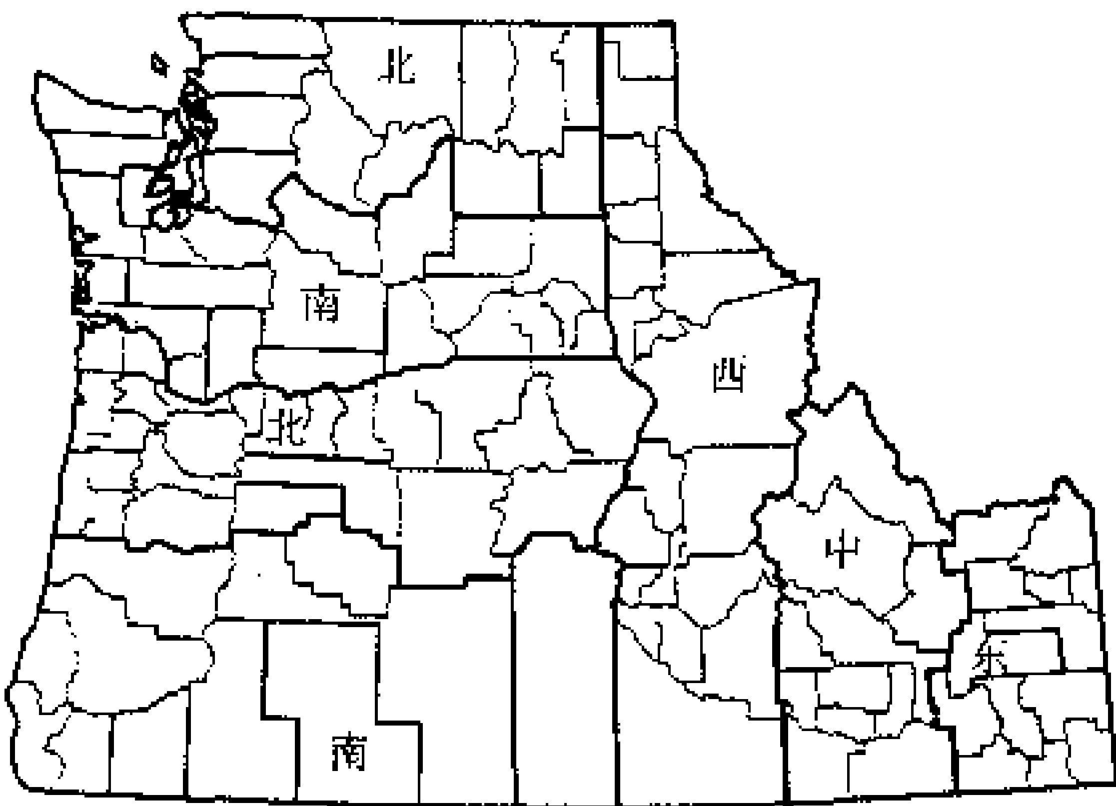


图 2.12　华盛顿、俄勒冈和爱达荷的国家平面坐标系。兰勃特等角圆锥投影是华盛顿、俄勒冈坐标系的基础，而横轴墨卡托投影是爱达荷坐标系的基础。

向伸长的带(如爱达荷的 SPC 带)，兰勃特等角圆锥投影适用于东西方向伸长的带（例如，俄勒冈州的 SPC 带)。每个 SPC 带中点的位置都以距假定原点的距离(英尺)来度量。

因为从 NAD27 转成 NAD83，相应就有 SPC27 和 SPC83，除了基准面改变外，SPC83 还有其他的一些改变。SPC83 坐标用米而不用英尺表示。蒙大拿、内布拉斯加和北卡罗来纳等州都已用单个 SPC 带来代替多个带。加利福尼亚的 SPC 带已从 7 个减到 6 个，密歇根州的投影已从横轴墨卡托转为兰勃特等角圆锥投影。

美国的一些州已发展了自己的适用于本州范围的坐标系以获得所需的精度。如爱达荷在该州中部被分成 UTM 第 11 带和第 12 带，这对爱达荷的 GIS 用户而言，当他们研究的地区涉及这两个带时，就显得极为不便。因为他们必须将数据库转成同一个带以便进行空间配准，但这样就无法保持 UTM 坐标系的精度水平。1994 年，爱达荷地理信息顾问委员会采用一个全州范围的坐标系(注释栏 2.2)。这个新的系统仍基于通用横轴墨卡托投影，但它的中央经线通过本州的中心（114°W)。改变中央经线的位置使得爱达荷坐标系用一个带而不是两个带来显示整个州。

注释栏 2.2　爱达荷州域横轴墨卡托坐标系参数

基于横轴墨卡托投影，爱达荷州域坐标系的技术参数如下：

- 单位：m
- 中央子午线：−114°
- 中央子午线比例系数：0.9996
- 基准面：NAD27（采用 NAD83 之前）
- 原点纬度：42°
- 纵坐标北移假定值：100 000 m
- 横坐标东移假定值：500 000 m

2.4.4　公用土地调查系统

PLSS 是一个土地划分系统。采用镇区和山脉相交线，该系统将主要位于中、西部各州的土地分成 6mi×6mi 的方格或镇区。每个镇区进一步被分成 36 个 1mi²(640 acre)的单元，称为地块。GIS 近来的一个进展即是用 PLSS 来创建地块图层。美国内政部土地管理局(BLM）已为美国西部开发了 PLSS 的地理坐标数据库(**GCDB**)(http://www.blm.gov/gcdb/)。GCDB 包括了地块四至和 PLSS 中记录的土地界碑的经纬度值和其他描述性信息。地块图层的法定描述就可以在实际工作中使用，例如来自地块四至的方位和距离读数。

2.5　在 ArcView 中进行投影

所有的 GIS 软件包都有投影和重新投影功能，尽管这些功能的设立方法有所不同。这里以 ArcView 为例子。ArcView 提供两种投影方法：Projection 和 Projection Utility。Projection 仅局限于对以十进制度数形式表示的地理坐标(经纬度值)进行投影。

Projection Utility 是一个基于向导的设备,它能将 shapefile 从地理坐标投影到坐标系,或将一个坐标系重新投影成另一个坐标系,或从一个基准面转到另一个基准面。Projection Utility 可以保存已投影的或重新投影过的 shapefile 以供日后使用。

Projection 和 Projection Utility 都有预定义(predefined)或自定义(custom)选项用于定义投影方法。预定义的系统包括常用的坐标系,如国家平面－1927、国家平面－1983、UTM 和国家格网。每个目录都有一个选择列表。列表中的每个投影都预定义了各自的椭球体和参数值。自定义选项要求用户输入坐标系统及其参数值。

重要概念和术语

比例系数:局部比例尺与参考椭球比例尺的比率,沿标准线的比例系数为 1。

标准经线:沿经线方向或具有相同经度值的标准线。

标准线:投影面与参考椭球相切的线,标准线没有投影变形,其上的比例尺与参考椭球比例尺一致。

标准纬线:沿纬线方向或具有相同纬度值的标准线。

参考椭球:地球的简化模型,在其基础上构建地图投影,又称名义球体或生成球体。

重新投影:将空间数据从一种坐标系投影到另一种坐标系。

等积投影:以正确的相对大小来表示面积的一种地图投影。

等角投影:保持局部形状的一种地图投影。

等距投影:保持某些距离的比例尺一致的一种地图投影。

地理格网:地球表面空间要素的定位参照系统。

地图投影:要素的空间关系从地球表面到平面地图的转换过程。

地理坐标数据库(GCDB):美国内政部土地管理局(BLM)开发的数据库,包括 PLSS 中地块四至和界碑的经度、纬度值及其他描述信息。

度-分-秒 (DMS)制:用度-分-秒表示经纬度值(如 42°30′00″的度量制。1 度等于 60 分,1 分等于 60 秒。

方位投影:保持特定方向上投影精度的一种地图投影。它也指用平面作为投影面的地图投影。

公用土地调查系统 (PLSS):美国所用的一种土地划分系统。

GRS80 椭球体:1980 年大地测量参考系统的参考椭球体,它是卫星测量椭球体。

国家平面坐标(SPC)系统:20 世纪 30 年代发展起来的一种坐标系,用于永久记录美国最初土地调查的界碑位置。基于 SPC27 或 SPC83 系统,美国多数州都超过一个分带。

横轴墨卡托投影:一种常用地图投影,是通用横轴墨卡托坐标系(UTM)和 国家平面坐标(SPC) 系的基础,美国许多州使用该投影。

横坐标东移假定值:用于改变地图投影原点 x 坐标读数的数值。

经线:地理格网中表示经度沿东西方向变化的线。

基准面:坐标系的基础。基准面由椭球体派生而来。

兰勃特等角圆锥投影:一种常用的地图投影,是国家平面坐标 (SPC)系统的基础,为美国许多州所使用。

克拉克 1866 椭球:一种大地测量椭球体,是 1927 年北美测量基准面(NAD27)的基础。

NAD27:1927 年北美测量基准面,它是基于克拉克 1866 椭球,且中心位于堪萨斯州的 Meades Ranch。

NAD83:1983 年北美测量基准面,它是基于 WGS84 或 GRS80 椭球体,并从椭球体中心进行量算。

十进制度数(DD)制:一种用十进制表示经纬度值(如 42.5°)的度量制。

椭球:近似表示地球的模型,也称为椭球体。

椭球体:用于近似表示地球的模型,也称为椭球 。

UTM 格网系统:通用横轴墨卡托格网系统,将 84°N 到 80°S 之间的地球表面分成 60 个带,每个带覆盖 6 个经度。

UPS 格网系统:通用极射格网系统,它将极地地区分成一系列 100 000m^2 的单元,与 UTM 格网系统类似。

纬线:地理格网中表示纬度值沿南北方向变化的线。

WGS84 椭球体　1984 年全球大地测量系统所用的参考椭球体,是卫星测量椭球体。

***x* 平移**: x 坐标的平移值,用于减少 x 坐标读数位数。

***Y* 平移**: y 坐标的平移值,用于减少 y 坐标读数位数。

圆锥投影:用圆锥作为投影面的一种地图投影。

圆柱投影:用圆柱作为投影面的一种地图投影。

中央线:包括中央经线和中央纬线,它们共同确定了地图投影的中心或原点。

纵坐标北移假定值:用于改变地图投影原点 y 坐标读数的数值。

主比例尺:与参考椭球的比例尺相同的比例尺。

应用:地图投影和坐标系

本章应用部分包括 3 个习作:习作 1 用 ArcView 来将两张地图投影成现实世界坐标系,这两张地图的单位都用经纬度的十进制表示形式。习作 2 和习作 3 用到 ArcView 的 Projection Utility 向导。习作 2 从一个包含经纬度值的文本文件创建一个 shapefile 并将 shapefile 投影成现实世界坐标系。习作 3 将 shapefile 从一个坐标系重新投影到另一个坐标系。

习作 1　使用 ArcView 中的 Projection

所需数据:stationsll.shp 和 idll.shp,两个以十进制表示经纬度数值的 shapefile。stationsll.shp 包含滑雪道,idll.shp 是爱达荷州轮廓图。

在本习作中,你将把 stationsll.shp 和 idll.shp 投影成爱达荷通用横轴墨卡托投影(IDTM)。因为 IDTM 不是一个预定义系统,你必须选择 Custom 选项,Custom 选项列出了 18 个系统和 12 个椭球体。每个 Custom 系统要求用户输入一系列参数 。IDTM 参数如下:

投影:横轴墨卡托

基准面：NAD27（基于克拉克 1866 椭球）

单位：m

参数

比例系数：0.9996

中央经线：−114.0

参考纬度：42.0

横坐标东移假定值：500 000

纵坐标北移假定值：100 000

1. 启动 ArcView，打开一个新的 view。将 stationll.shp 和 idll.shp 加到 View1 中。
2. 从 View 下拉菜单中选择 Properties。在 View Properties 对话框中选择 meters 作为地图单位并点击 Projection。
3. 在 Projection Properties 对话框中，选择 Custom 并根据 IDTM 的参数来设置投影性质。点击 Projection Properties 和 View Properties 菜单中的 OK。该专题图现已投影为 IDTM。

习作 2 从文本文件创建 shapefile，并用 ArcView 的 Projection Utility 对其进行投影

所需软件和数据：带有 Projection Utility 的 ArcView 3.2；snow.txt，一个包含爱达荷州 40 个滑雪场经纬度值的文本文件；stations.shp，一个已投影的 shapefile，用于检验习作 2 的结果。

习作 2 示明如何从一个定界的文本文件来创建一个 shapefile，并将该 shapefile 从地理坐标系统投影成兰勃特等角圆锥投影。ArcView 的 Projection Utility 包括四个步骤，每一步骤都有用于输入数据的对话框。

1. 启动 ArcView，加载 Projection Utility Wizard 扩展模块。
2. 打开一个新的视图。为了从 snow.txt 创建一个新的 shapefile，点击 Project 窗口中的 Table。在 Project 下拉菜单中的 Add Table 对话框中，首先将文件类型改为 Delimited Text，选择 snow.txt，点击 OK。文件显示了以十进制表示的 40 个滑雪道的经纬度值。
3. 激活 View1 窗口，从 View 下拉菜单中选择 Add Event Theme。在 Add Event Theme 对话框中，将经度定义为 x 域，将纬度定义为 y 域，点击 OK。名为 snow.txt 的新专题被加到左侧的目录中。选中 snow.txt 旁的复选框查看之。
4. 使用 ArcView 的 Projection Utility，事件专题必须要先转成 shapefile 格式。激活该事件专题，从 Theme 下拉菜单中选择 Convert to Shapefile 。将 shapefile 命名为 trial.shp 并加到 View1 中，激活 trial.shp。
5. trial.shp 是以经纬度为单位的。下一步是将 trial.shp 投影成兰勃特等角圆锥投影，所用参数如下：

   单位：m

   基准面：NAD27

   椭球体：克拉克 1866

   中央经线：−114

原点纬度：42

第一标准纬线：33

第二标准纬线：45

6. 从 File 菜单中选择 ArcView Projection Utility，加载该向导后，trail. shp 应出现在步骤一对话框中，若无，点击 Browse 浏览到 trial. shp 。选中 trial. shp 并点击 Next。
7. 在步骤二中，你需要为 trial. shp 定义坐标系。确认 Show Advanced Option 旁的复选框已被选中(打钩)。定义包括四个部分：名称、参数、基准面和椭球体。先从名称开始，选择 Geographic 作为坐标系类型，名称为 GCS_North_American_1927，单位为 Degree；点击 Parameters，对话框显示的名称应为 GCS_North_American_1927；接下来点击 Datum。Datum 对话框显示的名称应为 D_North_American_1927，不必输入或改变对话框中的任何值；点击 Ellipsoid，对话框显示的名称应为 Clarke_1866。点击 Next 进到步骤三。若问是否保存，点击 Yes 以保存输入的坐标系信息。在步骤三，你将为新的 shapefile 定义坐标系，即兰勃特等角圆锥投影。同样涉及四部分内容，首先是名称，选择 Projected 作为坐标系类型，因为兰勃特等角圆锥投影不是预定义投影，你应选择 Custom (在滚动条底部) 作为名称，选择 Meter 作为单位；接着点击 Parameters，在 Parameters 对话框中，首先选择 GCS_North_American_1927 作为 Geographic Coordinate System。然后选择兰勃特等角圆锥作为 Base Projection，并分别为中央经线、中央纬线、标准纬线 1 和标准纬线 2 键入－114、42、33 和 45 。点击 Next 进到步骤四。
8. 步骤四让你命名新的 shapefile 文件及其路径。将新的 shapefile 命名为 trial2. shp，点击 Next。
9. ArcView 将你以上所提供的信息显示汇总清单。如果你发现有误，可点击 Back 加以订正，否则点击 Finish。
10. ArcView 将 trial. shp 投影成 trial2. shp。此时将跳出一进程框，投影过程会延续一会儿。当投影结束后，在弹出的 Complete 对话框中点击 OK。你可将 trial2. shp 加到视图中。为了检验 trial2. shp 是否被正确投影，你可以将 stations. shp 加到视图中，trail2. shp 和 stations. shp 这两个 shapefiles 应完全相同。
11. 完成投影后，ArcView 的 Projection Utility 创建了一个名为 trial2. prj 的投影文件。你可以打开 trial2. prj 这个文本文件读取投影参数值。

习作 3 用 ArcView 的 Projection Utility 对 shapefile 重新投影

所需软件和数据：带 Projection Utility 的 ArcView 3. 2，idoutl. shp 和 stations. shp，与习作 2 的 trial2. shp 相同。

习作 3 中将不只一次使用 ArcView 的 Projection Utility 。stations. shp 的原投影是兰勃特等角圆锥投影，这一次你将对 stations. shp 重新投影，将其转成爱达荷横轴墨卡托坐标系。两种坐标系的参数值与习作 1 和习作 2 的相同。

1. 启动 ArcView 并加载 Projection Utility Wizard。
2. 打开一个新的视图 ，将 stations. shp 加到视图中。

3. 从 File 下拉菜单中选择 ArcView Projection Utility，你在步骤一的对话框中可看到要作重新投影的 stations.shp。若无，点击 Browse 并找到 stations.shp 所在路径，选中后点击 Next。
4. 步骤二要定义 stations.shp 的坐标系。因为 stations.prj 已有坐标系统的参数值，你所需做的是检查名称、参数、基准面和椭球体，并确认无误。而后点击 Next 进入步骤三。
5. 步骤三对话框要求定义新的坐标系，stations.shp 将转到这个新的坐标系。从名称开始：选择 Projected 作为投影类型，Custom 作为名称，选择 Meter 作为单位；下一步是 Parameter 对话框，选择横轴墨卡托作为 Base Projection，并为中央经线、中央纬线和比例系数分别键入−114、42 和 0.9996 。在 Geographic Coordinate System 中选择 GCS_North_American_1927，并设置横坐标东移假定值为 500 000，纵坐标北移假定值为 100 000；确定基准面为 D_North_American_1927，椭球体为 Clarke_1866，最后点击 Next 进到步骤四。
6. 在步骤四对话框中确定重新投影的 shapefile 文件名为 idstations.shp 及其路径，然后点击 Next。
7. Summary 对话框显示输入坐标系和输出坐标系，若发现有误，可点击 Back 回到上一步进行订正，若无误，点击 Finish。
8. 重新投影需要一定时间。在 Complete 对话框中点击 OK，并将新的 shapefile 文件加到一个新视图中。为检验 idstations.shp 是否被正确投影，可在 view 中加入 idoutl.shp（基于爱达荷横轴墨卡托坐标系的爱达荷州轮廓图），多数滑雪场应坐落在爱达荷州轮廓内。

参考文献

Dent, B. D. 1999. *Cartography: Thematic Map Design*, 5th ed. Dubuque, Iowa: Wm C. Brown Publishers.

Maling, D. H. 1992. *Coordinate Systems and Map Projections*, 2d ed. Oxford: Pergamon Press.

Moffitt, F. H., and J. D. Bossler. 1998. *Surveying*, 10th ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.

Robinson, A. H., J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, and S. C. Guptill. 1995. *Elements of Cartography*, 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Snyder, J. P. 1993. *Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections*. Chicago: University of Chicago Press.

第3章 矢量数据模型

3.1 引 言

查看纸质地图可得知地图要素及其空间相互关系。图3.1是一幅参考地图，显示爱达荷州与蒙大拿州、怀俄明州、犹他州、内华达州、俄勒冈州、华盛顿州和加拿大的边界，且包括印第安人保留地。地图通过其符号和文字向人们传递信息。我们容易获知地图要素及其空间关系，但是如何才能使计算机懂得这些要素和空间关系?这便是本章关于矢量数据模型所要讨论的基本问题。



图3.1 显示爱达荷和由美国土著美洲人代管的地块的参考地图。

矢量数据模型用点及其x、y坐标系来构建空间要素。基于矢量的要素是作为空间不连续的几何对象来看待。构建矢量数据模型一般包括以下几个步骤：首先，用简单的几何对象(点、线和面)来表示空间要素；其次，在GIS的一些应用中，明确地表达空间要素之间的相互关系；第三，数据文件的逻辑结构必须恰当，使得计算机能够处理空间要素及其相互关系；第四，陆地表面数据、重叠的空间要素和路网适于用简单几何对象的组合来表示。

本章共分为六个部分。第一部分涉及几何对象矢量数据的表示；第二部分阐述用于计

算机处理的数据结构；第三部分讨论非拓扑关系的矢量数据；第四部分阐述适于用点、线、面综合体来表示的空间要素；第五部分介绍新的面向对象的数据模型；最后一部分讨论空间数据准确度、比例尺和精确度。

3.2 矢量数据的表示

3.2.1 几何对象

矢量数据模型用 x、y 坐标和**点**、**线**、**面**简单几何对象来表示空间要素。点对象可以代表水井、水准点或采石场。线对象可以代表道路、河流或行政区边界。而面对象可以代表菜地、水体或污水池。

这三种类型的几何对象由维数和性质来区别。点对象的维数为零，且只有位置性质。线对象是一维的，且有长度特性。面对象是二维的且有面积和边界性质。在 GIS 文献中，点对象通常也称节点(node)、折点(vertex)或 0-像元(0-cell)；线对象称轮廓(edge)、链路(link)、链(chain)或 1-像元(1-cell)；面对象称多边形(polygon)、区域(face)、地带(zone)或 2-像元(2-cell)(Laurini 等 1992)。

点及其坐标是矢量数据模型的基本单元。线要素由点构成(图 3.2)。线是由两个端点之间一系列标记线形态的点所构成，可能是平滑曲线或者是折线(相连的直线线段)。平滑曲线一般可用数学方程拟合。直线线段可表示人文要素或曲线的近似值。线要素可以与其他线相交或相连，并形成网络。

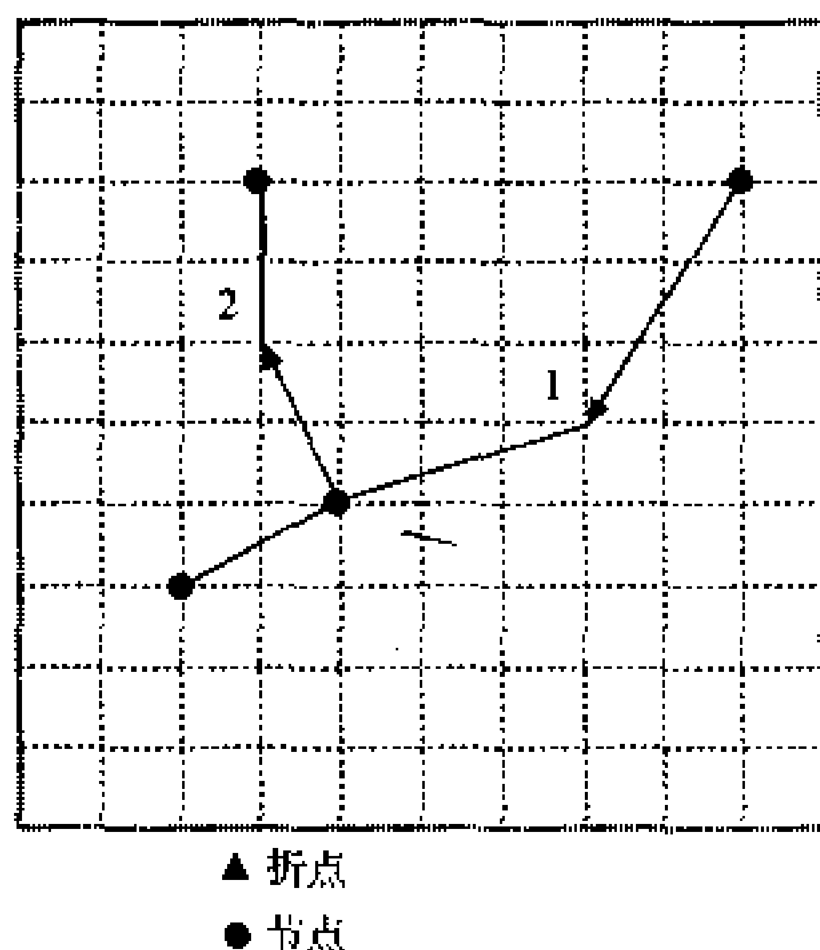


图 3.2 线对象：有始节点、终节点和折点的两条线。

面要素由线定义，而线要素由点定义(图 3.3)。面要素的边界把区域分成了内部区域和外部区域。面要素可以是单独的或连接的。一个单独的区域有一个特征点既作为边界起始点又作为边界的终点。面要素可以在其他面要素内形成岛，例如，爱达荷州所环绕的印第安人保留地。面要素可彼此重叠并产生叠置区，例如早先的森林火灾迹地可能彼此重叠。在简单数据模型中，岛和叠置区视为单独对象。

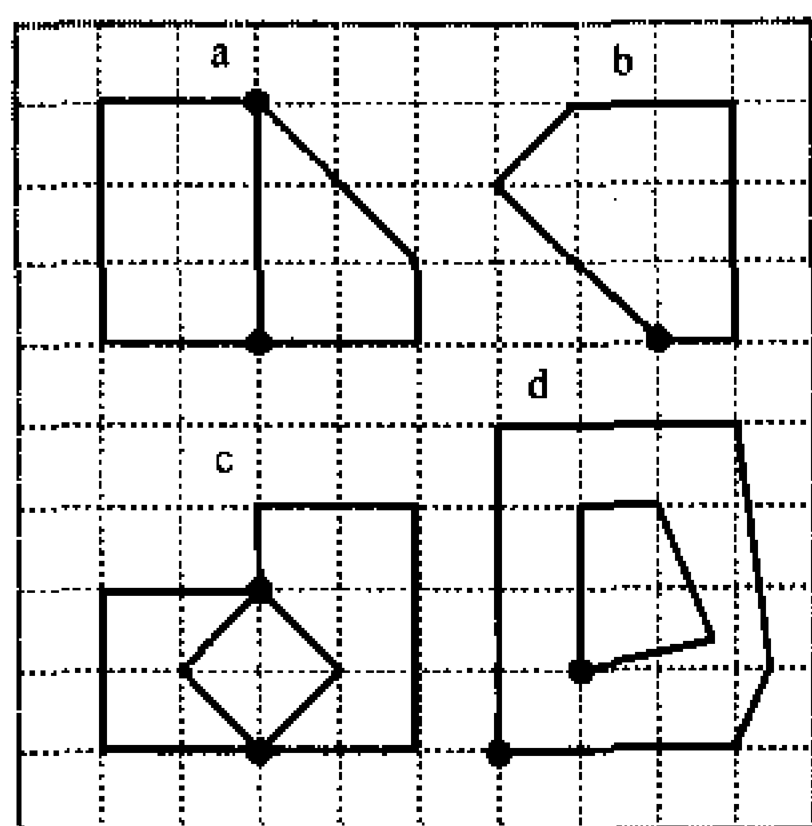


图 3.3　面对象:a——邻接的面;b——单独的面;c——由两个叠置的对象形成的三个面;d——一个面中的岛。

用点、线和面表示矢量数据不总是直截了当的,因为它还取决于地图比例尺,有时候还取决于由政府地图出版机构建立的指标(Robinson 等 1995)。**地图比例尺**是指地图上距离与地面距离的比率。例如,在一幅比例尺为 1∶24 000 的地图上,图上 1cm 相当于实际距离 24 000cm 或 240m。一幅比例尺为 1∶24 000 的地图所表示一个较小区域,但比一幅比例尺为 1∶1 000 000 的地图包含更多的细节。在 1∶1 000 000 比例尺的地图上,一座城市可能表示为一个点,而同一城市在 1∶24 000 比例尺地图上却表示为一个面。

河流的上游可能被表示为单线,但是其下游却可能被表示为一个面。此种情况下,河流的宽度决定了它在地图上的表现形式。美国地质调查局(USGS)在比例尺为 1∶24 000 的地形图上,用单线表示宽度小于 40ft 的河流,而用双线表示宽于 40ft 的河流。因此,一条河流表示为线或面取决于其宽度和政府机构所采用的指标。

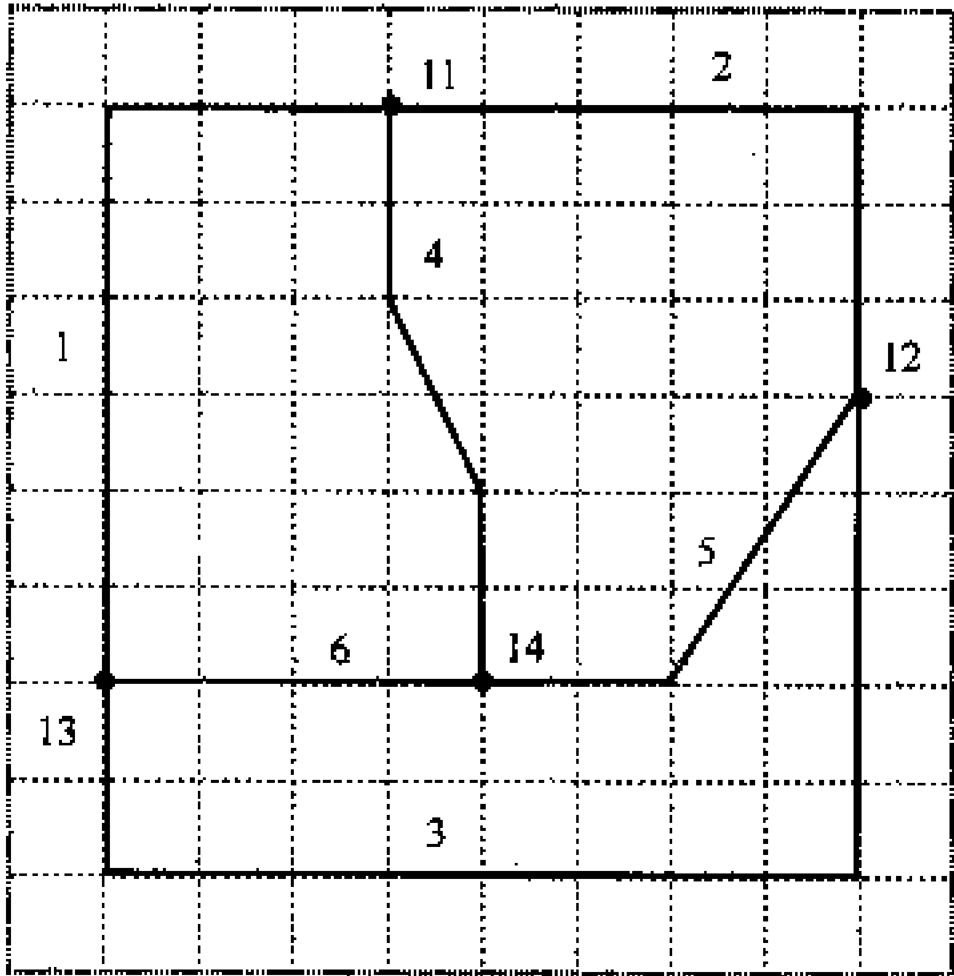
3.2.2　拓扑关系

建立矢量数据模型第一步是表述点、线和面的概念。对于某些 GIS 应用来说,下一步转入建立拓扑关系以明确地表达要素之间的空间关系。**拓扑**是研究几何对象在弯曲或拉伸等变换下仍保持不变的性质(Massey 1967)。例如,一个橡皮圈只要在其弹性限度内拉伸弯曲都不失去其仍是一个闭合圈的固有性质。

拓扑常被解释为通过**图论**这一数学分支,用图表或图形来研究几何对象排列及其相互关系(Wilson 等 1990)。对矢量数据模型重要的是有向图(directed graph),包括点和有向线(directed lines)又称弧段。在有向图中可以建立点、线对象之间的邻接和关联关系(注释栏 3.1)。

如果一条线连接两个点，称这两个点与线邻接和关联。邻接和关联关系可用矩阵明确地表达。图3.4显示的是一个有向图的邻接矩阵和关联矩阵。邻接矩阵的行和列对应于节点号，矩阵内的弧段号是指与有向图对应节点连接的弧段号。例如，(11，12)中的1是指连接节点11到节点12的弧段，(12，11)中的0是指没有连接节点12到节点11的弧段。弧段的方向决定了应赋予1或0。

关联矩阵的行号对应于图3.4中的节点号，列号对应于弧段号。矩阵中的1是指弧段关联自一个节点，−1意为弧段关联至，0意为 弧段与节点均不关联。以弧段1为例，它从节点13出射(关联自)，入射到(关联至)节点11，与其他节点不关联。矩阵对邻接和关联做了很好的数学表达。



邻接矩阵

	11	12	13	14
11	0	1	0	1
12	0	0	1	0
13	1	0	0	0
14	0	1	1	0

关联矩阵

	1	2	3	4	5	6
11	−1	1	0	1	0	0
12	0	−1	1	0	−1	0
13	1	0	−1	0	0	−1
14	0	0	0	−1	1	1

图3.4 用于简单有向图的邻接矩阵和关联矩阵。

美国人口普查局的拓扑统一地理编码格式(TIGER)数据库是使用拓扑结构的一个很好的例子(Broome 等 1990)。在TIGER数据库中，点叫做0-像元，线叫做1-像元，面叫做2-像元(图3.5)。TIGER文件中每一个1-像元是一条从起点指向终点的且有明确左右侧的有向线。每一个2-像元和0-像元都有与之相关联的1-像元知识。包含道路、河流、

边界和等高线等类要素的美国地质调查局的数字化线状图形(DLG)产品，也使用了拓扑关系来定义要素之间的空间关系。商业 GIS 厂商如 ESRI 和 Intergraph 也拥有其拓扑关系数据结构。

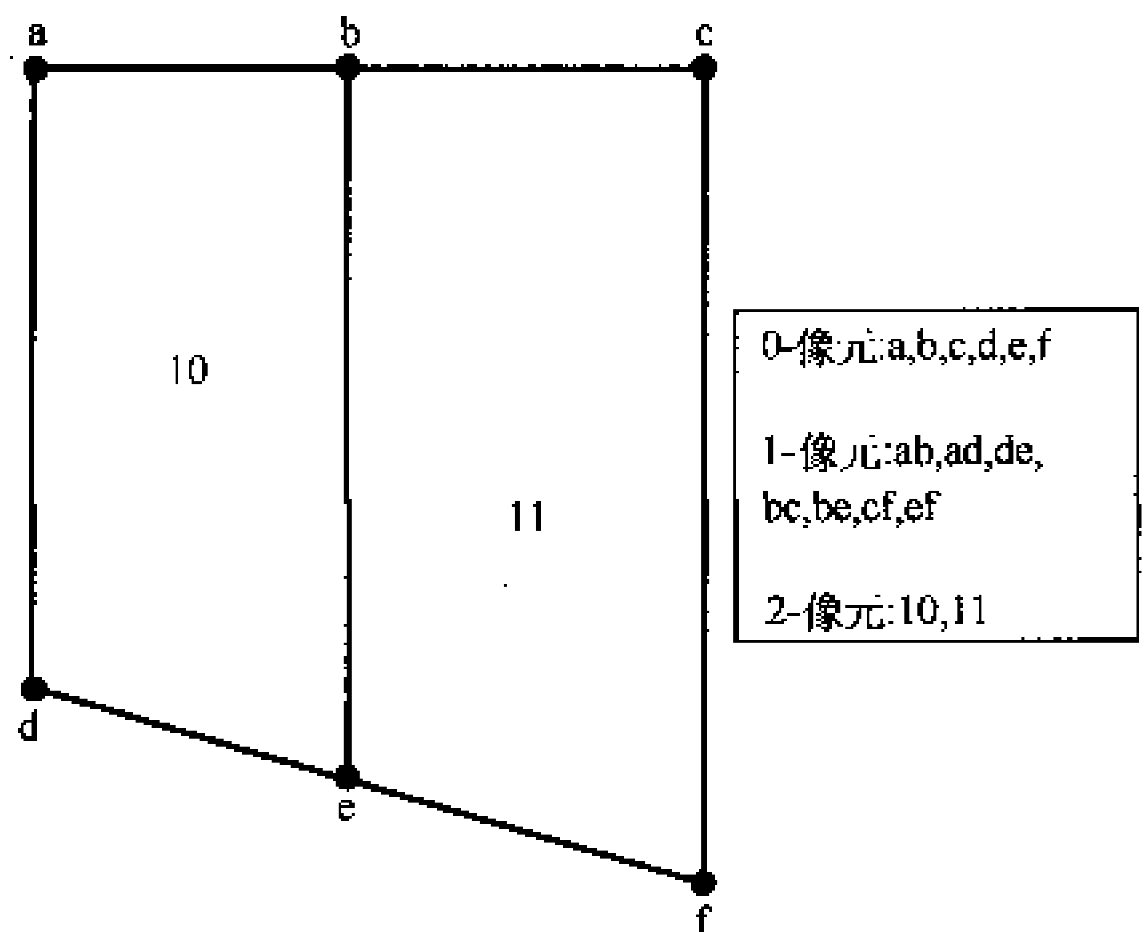


图 3.5　在 TIGER 数据库中的拓扑包括 0-像元或点、1-像元或线和 2-像元或面。

ESRI 规定用于 ARC/INFO 的标准拓扑矢量数据格式为**图层**(**coverage**)，并以点、线和面对图层归类。图层支持以下三种基本拓扑关系：

(1)**连接性**：弧段间通过节点彼此连接。

(2)**面定义**：由一系列相连的弧段定义面。

(3)**邻接性**：弧段有方向性，且有左多边形和右多边形。

除了术语的使用之外，上述三种拓扑关系与在 TIGER 数据库中的拓扑关系相类似。拓扑关系在数字地图的查错上很有用。拓扑关系也可用于发觉未正确接合的线、未正确闭合的多边形，以及数字地图上的其他数字化错误。这些错误必须得以订正以避免要素不完善和数据分析出现问题。例如，最短路径分析需要道路正确相会。如果在假定连续的道路上存在一个缝隙，将会导致分析时避开缝隙而选择迂回路径。

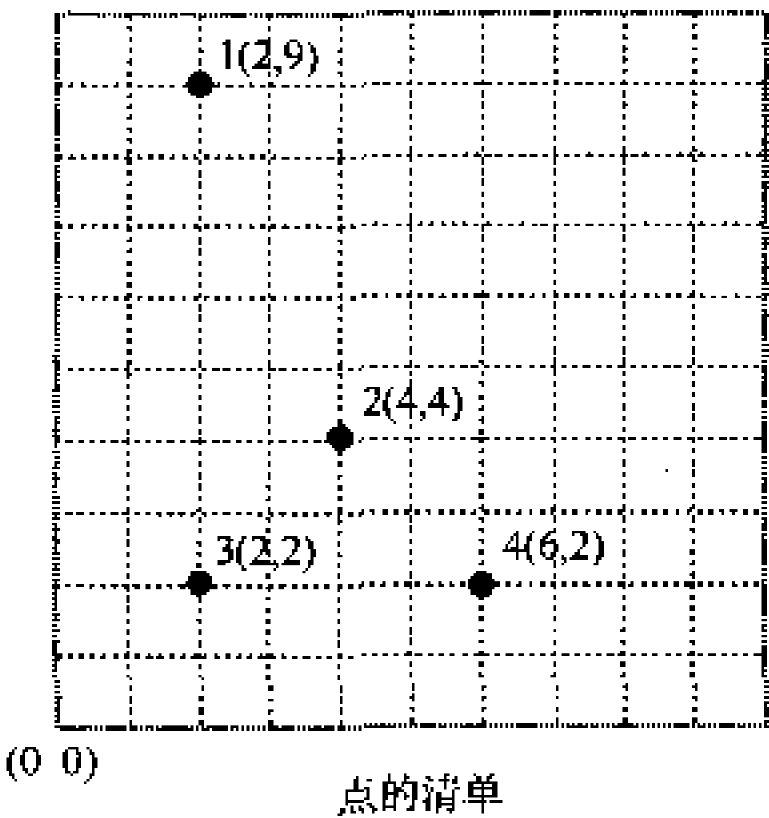
拓扑关系对一些类型的 GIS 分析也是重要的。其中一个例子是交通容量分析，交通容量的测定必须遵循同一交通方向的线路。另外一个例子是鹿栖息地的分析，通常涉及栖息地类型之间的边缘，尤其是在老生长区和皆伐区之间的边缘(Chang 等　1995)。因为在拓扑结构数据模型中，边界是以左多边形和右多边形编码的，沿着边缘分布的特定栖息地类型就易于表解和分析。

3.3　拓扑数据结构

我们已经解释了基于拓扑关系的矢量数据模型的概念。这些概念的应用属于数据结构领域，亦即数字数据文件结构和文件之间关系。

点要素很简单，可用标识号码(IDs)和成对的 x 和 y 坐标来编码(图 3.6)。拓扑关系不适于应用点，因为点是彼此分开的。

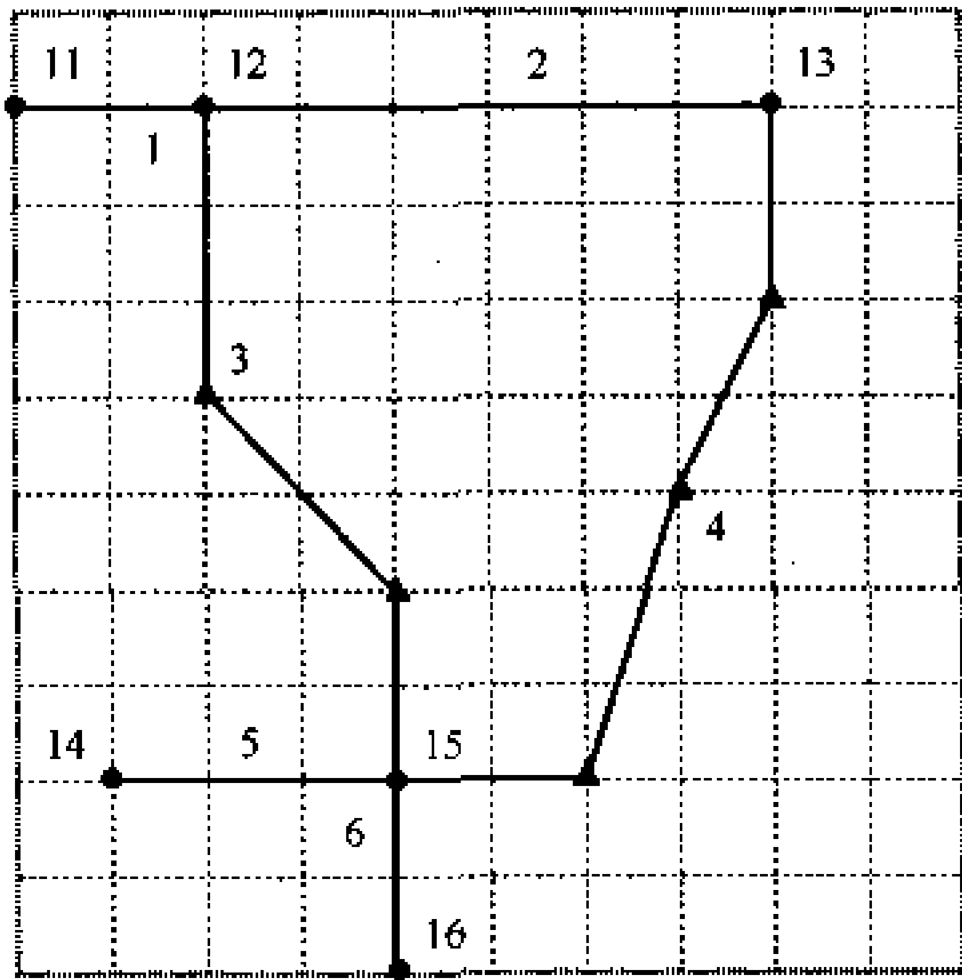
图 3.7 表示线要素的数据结构。在 ARC/INFO 术语中，一条线段叫做一条**弧段**，它与称为**节点**的两个端点连接。开始点叫做始节点(from-node)，结束点叫做到节点(to-node)。弧段-节点表列出了弧段-节点的关系。例如，弧段 2 是以节点 12 为始节点，以节点 13 为到节点。弧段-坐标清单显示组成每条弧段的 x、y 坐标。例如，弧段 3 是经由点(2，6)和点(4，4)连接的三条线段组成。



点的清单

ID	x,y
1	2,9
2	4,4
3	2,2
4	6,2

图 3.6 具有 x、y 坐标的点。



弧段-节点清单

弧段号	始节点	到节点
1	11	12
2	12	13
3	12	15
4	13	15
5	15	14
6	15	16

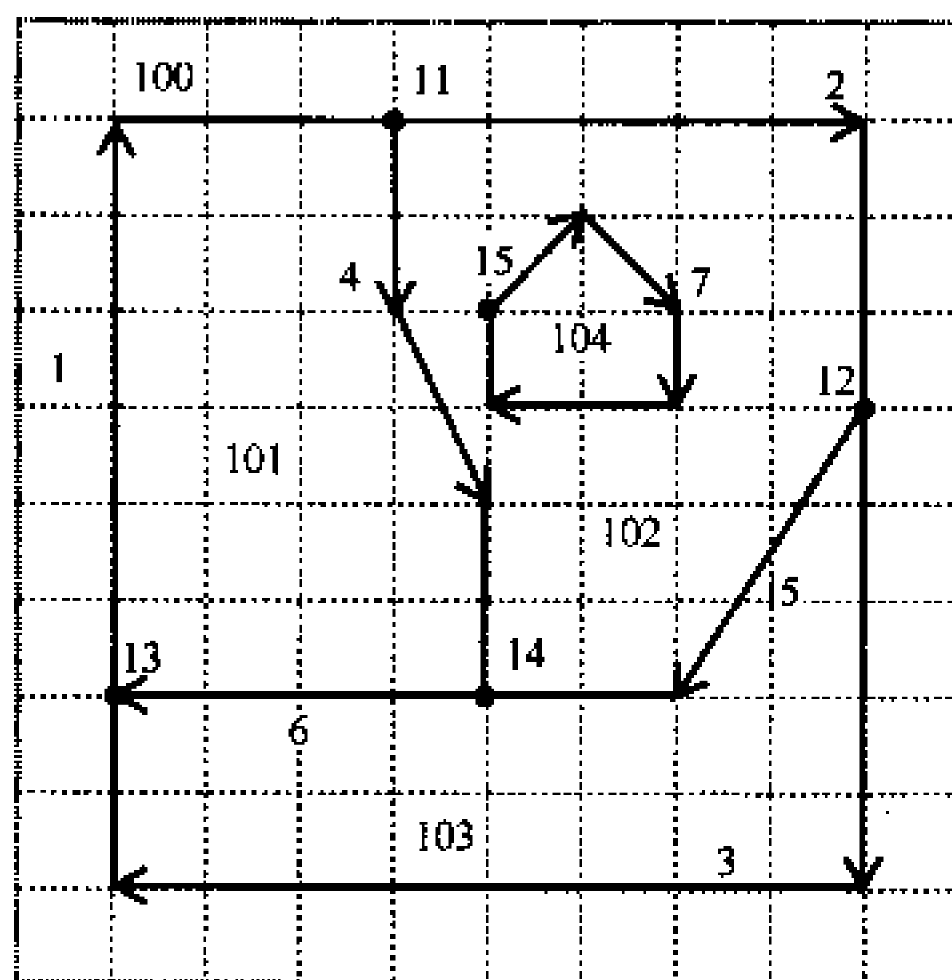
弧段-坐标清单

弧段号	x,y 坐标
1	(0,9)(2,9)
2	(2,9)(8,9)
3	(2,9)(2,6)(4,4)(4,2)
4	(8,9)(8,7)(7,5)(6,2)(4,2)
5	(4,2)(1,2)
6	(4,2)(4,0)

图 3.7 线数据模型的数据结构。

图 3.8 显示面要素的数据结构。多边形/弧段清单显示多边形和弧段之间的关系。例

如,弧段 1、4 和 6 连接构成了多边形 101。多边形 104 与其他多边形不同之处在于其被多边形 102 所环绕。弧段清单中多边形 102 含有一个 0 以区分其外边界和内边界,来显示多边形 104 是多边形 102 内的一个岛。多边形 104 是一个独立的多边形,由惟一的弧段(7)和一个既表示始节点又表示到节点的节点 (15)构成。在地图区域外面的多边形 100,通常称为外多边形或全域多边形。



左/右多边形清单

弧段号	左多边形	右多边形
1	100	101
2	100	102
3	100	103
4	102	101
5	103	102
6	103	101
7	102	104

多边形/弧段清单

多边形号	弧段号
101	1,4,6
102	4,2,5,0,7
103	6,5,3
104	7

图 3.8　面数据模型的数据结构。

在图 3.8 中左/右多边形清单显示弧段及其左多边形和右多边形之间的关系。例如,弧段 1 是一条从节点 13 到节点 11 的有向线,多边形 100 是其左多边形,多边形 101 是其右多边形。每个多边形都赋予标识点把多边形与其属性数据相链接。

基于拓扑关系的数据结构有利于数据文件的组织,并减少数据冗余。两个多边形之间的共享边界在弧段-坐标清单中只列一次,而不是两次。而且,共享边界定义两个多边形,所以更新多边形就变得相对容易。例如,若图 3.8 中的弧段 4 在两个节点之间变成直线,只需改变弧段 4 的坐标清单即可。

3.4 非拓扑关系的矢量数据

在 20 年以前 GIS 开发者为了把 GIS 从 CAD(计算机辅助设计)中分离出来而引进了拓扑关系。Autodesk 公司的 AutoCAD 过去是,现在仍然是主导的 CAD 软件包。AutoCAD 用来转换数据文件的一种数据格式叫做 DXF(数据交换格式)。DXF 以分开的图层来保持数据,并允许用户使用不同的线符号、颜色和文字来绘制每个图层。但是 DXF 不支持拓扑关系。

对拓扑的问题又回到 GIS 上来(注释栏 3.2)。使用非拓扑矢量数据的主要优点是能比拓扑数据更快速地在计算机屏幕上显示出来。近年来,非拓扑数据格式已经成为标准格式之一——非专有数据格式。一些商业 GIS 软件包,如 ArcView,MapInfo 和 GeoMedia,实际上已采用了能直接用于不同的 GIS 软件包中的非拓扑数据格式。

注释栏 3.2　　拓扑与非拓扑

在经历了 20 年之后,拓扑学再一次成为一个争论问题。GIS 用户也许很想了解拓扑重要性。如同本章所述,拓扑对于数据编辑和一些类型的空间分析是很有用的。GIS 软件的拓扑能力有着很大的不同。ARC/INFO 使用三种基本拓扑关系,就足够满足它的需要,然而复杂的 GIS 操作可能需要更多拓扑关系来表达地图要素间的关系。

因此关于拓扑的决定取决于 GIS 项目。对于某些项目,拓扑功能并非必要,而对另一些项目而言,拓扑是必需的。例如,GIS 数据制作者会发现在查找错误、确保线的正确会合和多边形的正确闭合方面,使用拓扑是绝对必要的。对于需要拓扑的空间分析,GIS 用户实际上可能在匆忙地为非拓扑矢量数据建立起拓扑关系。

在 ArcView 中采用的标准的非拓扑数据格式叫做 **shapefile**。尽管在 shapefile 中,点是用一对 x、y 坐标,线是用一系列的点,多边形用一系列的线来存储,但是没有描述几何对象空间关系的文件。shapefile 多边形对于共享边界实际上有重复弧段且可彼此重叠。不同于 ARC/INFO 的图层所用的多个文件,shapefile 的几何学性质存储于两个基本文件:以 .shp 为扩展名的文件存储要素几何学特征,而以 .shx 为扩展名的文件保留要素几何学特征的索引。

Shapefiles 可转换为图层,反之亦然。从 shapefile 转换到图层需要建立拓扑关系并去除重复的弧段。从图层转换到 shapefile 比较简单。但是如果图层存在拓扑错误,诸如线之间没有完全连接,会导致在 shapefile 中出现要素丢失问题。图 3.9(a)表明一个图层在线连接方面有错误,转换为 shapefile 后,所有有错的线在 shapefile 中均消失了(图 3.9(b))。

3.5 高级对象

为了完成对矢量数据模型的讨论,本节讨论 TIN、区域和动态分段等高级对象。第 12 章、15 章和 16 章将分别介绍 TIN、区域和动态分段的创建和应用。

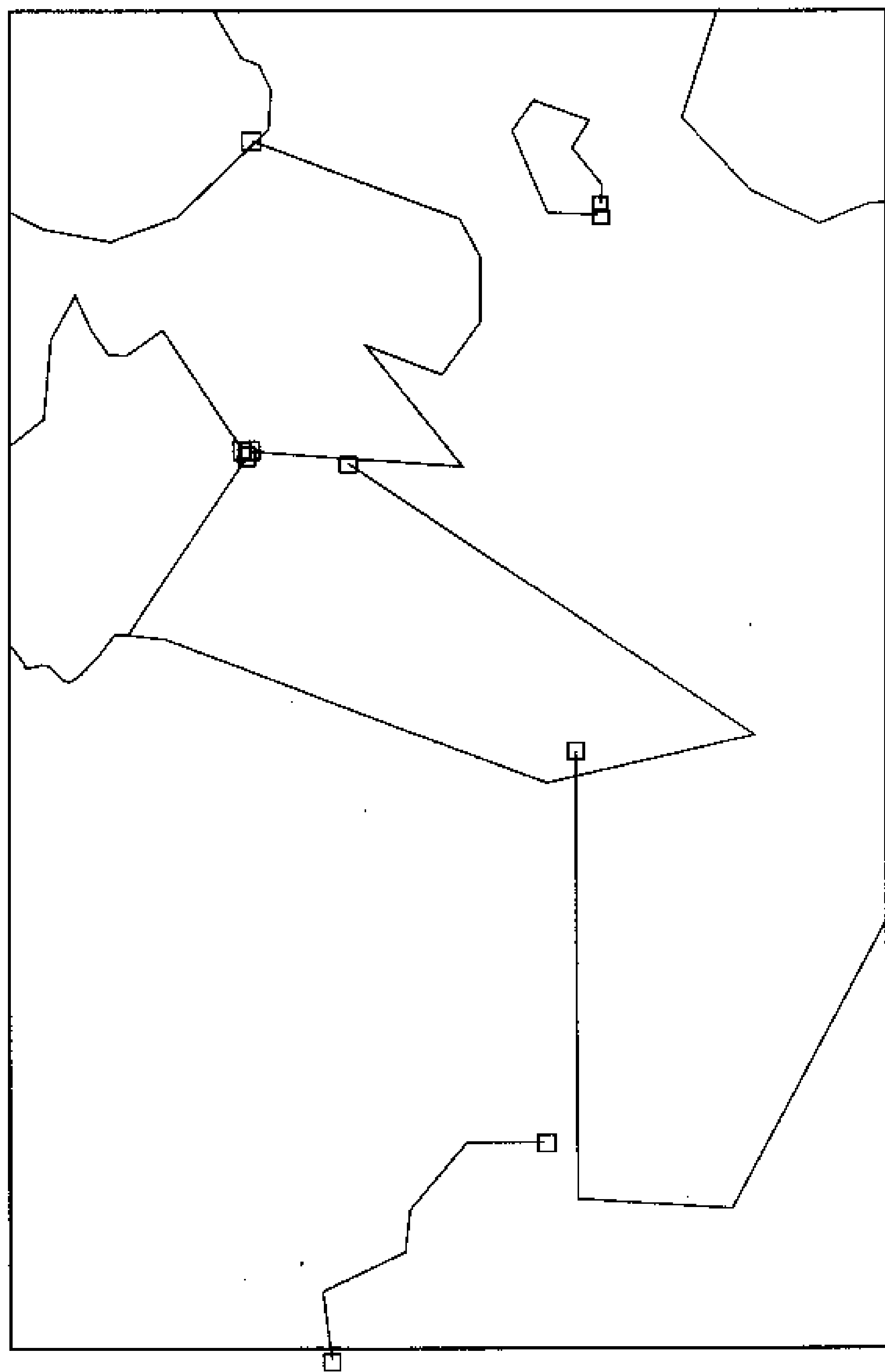


图 3.9(a)　有拓扑错误的多边形图层。

3.5.1　不规则三角网

一种用于地形制图和分析的矢量数据结构称为 **TIN（不规则三角网）**。TIN 模型把地表近似描述成一组互不重叠的三角面(图 3.10)。每个三角面在 TIN 中都有一个恒定的倾斜度。用**德老内(Delaunay)三角测量**来构造这些三角面，它是一个与其最近两个相邻点连接以尽可能形成等角三角形的反复过程。对于德老内三角测量已提出不同的计算机算法，而且这些算法还在不断改进中(Watson 等　1984，Tsai　1993)。

TIN 由两个基本数据元素组成：一是有 x、y 和 z 值的高程点，二是连接这些点以形成三角形的边界(线)。x、y 的值表示点的位置，而 z 值表示该点的海拔高度。由构成三角

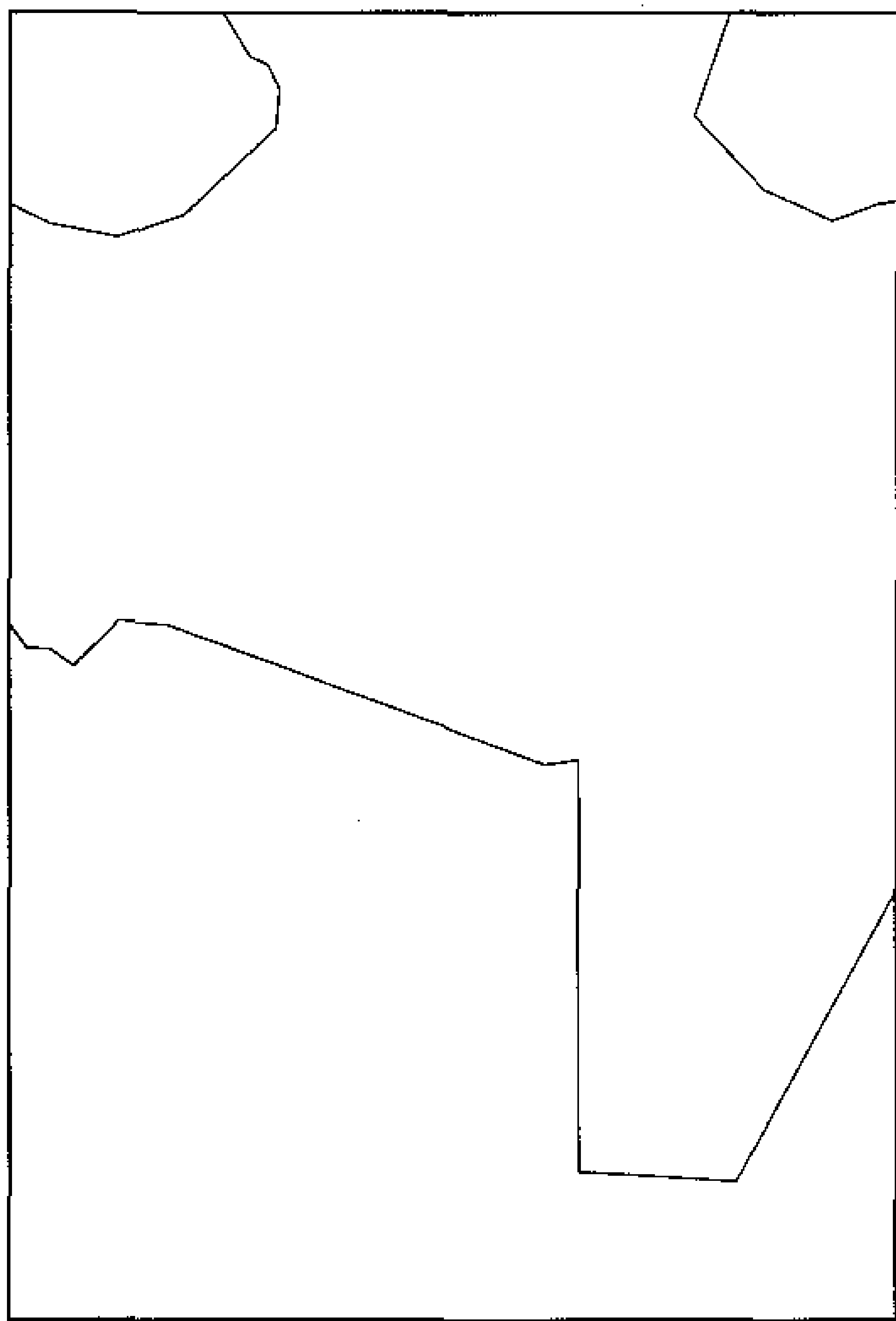


图 3.9(b) 由图 3.9(a)的图层转换而来的 shapefile。

形的三个点的 x、y 和 z 值可计算得每个三角形的坡度和坡向。在 TIN 中的这些高程点实际上是选来描绘地表的样点。平坦地区可用少量样点和大三角形来描绘，而海拔高度变化大的地区则需要用大量样点和小三角形来描述。

TIN 数据结构包括三角形编号、每个邻接三角形的编号和数据文件，数据文件列表显示点、边界以及每个高程点的 x、y 和 z 值。

3.5.2 区域

在简单的线和面上建立起来的**区域(regions)数据模型**由区域层和区域组成(图 3.11)。区域层由属性相同的区域构成。区域数据模型有两个重要特征：第一，区域层可以重叠或涵盖相同的范围。例如，代表 1917 年森林火灾燃烧区的区域层可能与在 1930 年火灾中被燃烧的另一个区域层相互重叠。当不同区域层覆盖相同区域时，它们形成了一种等级区域结构，一个区域层嵌套在另一个区域层中。

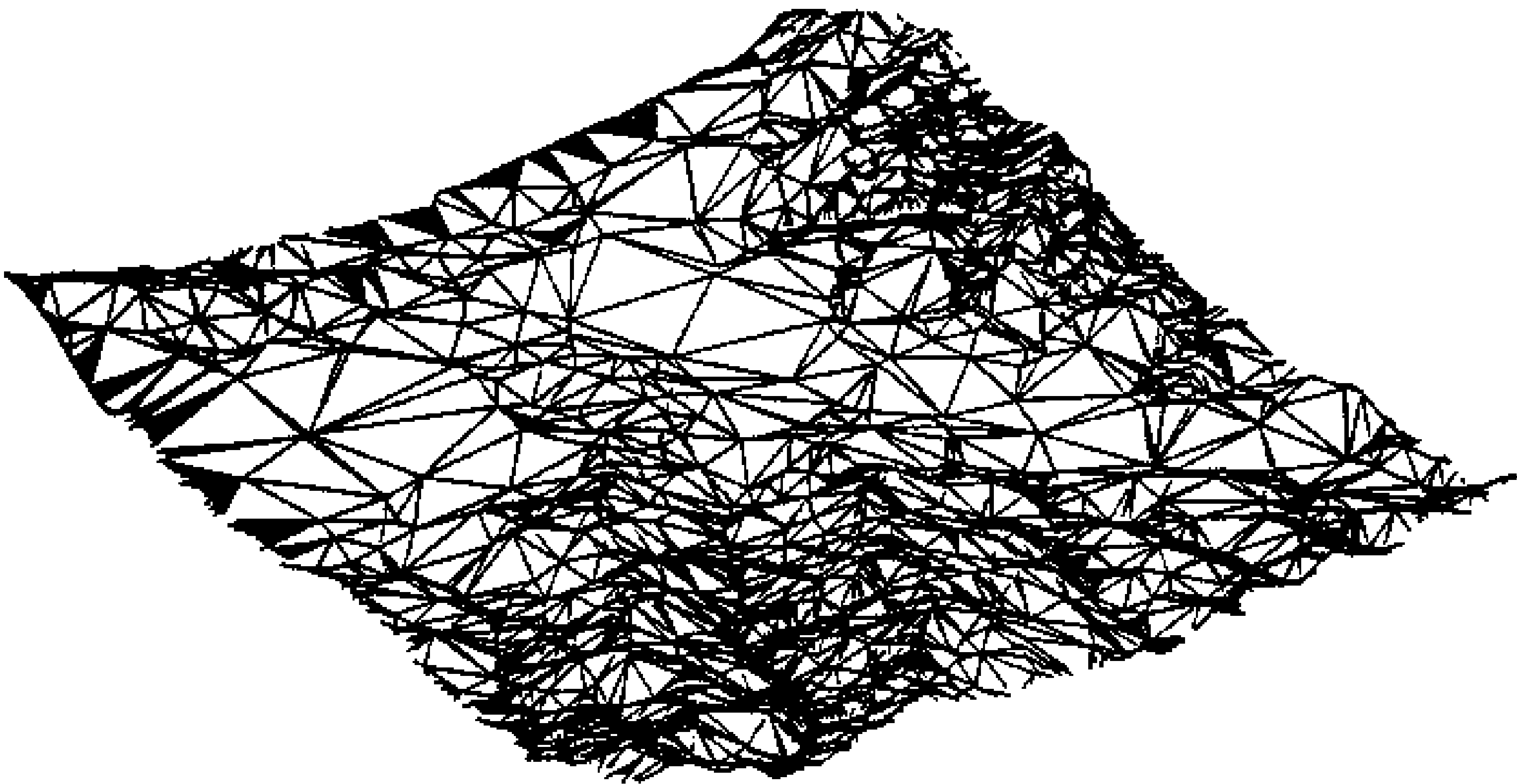


图 3.10　TIN 的透视图。

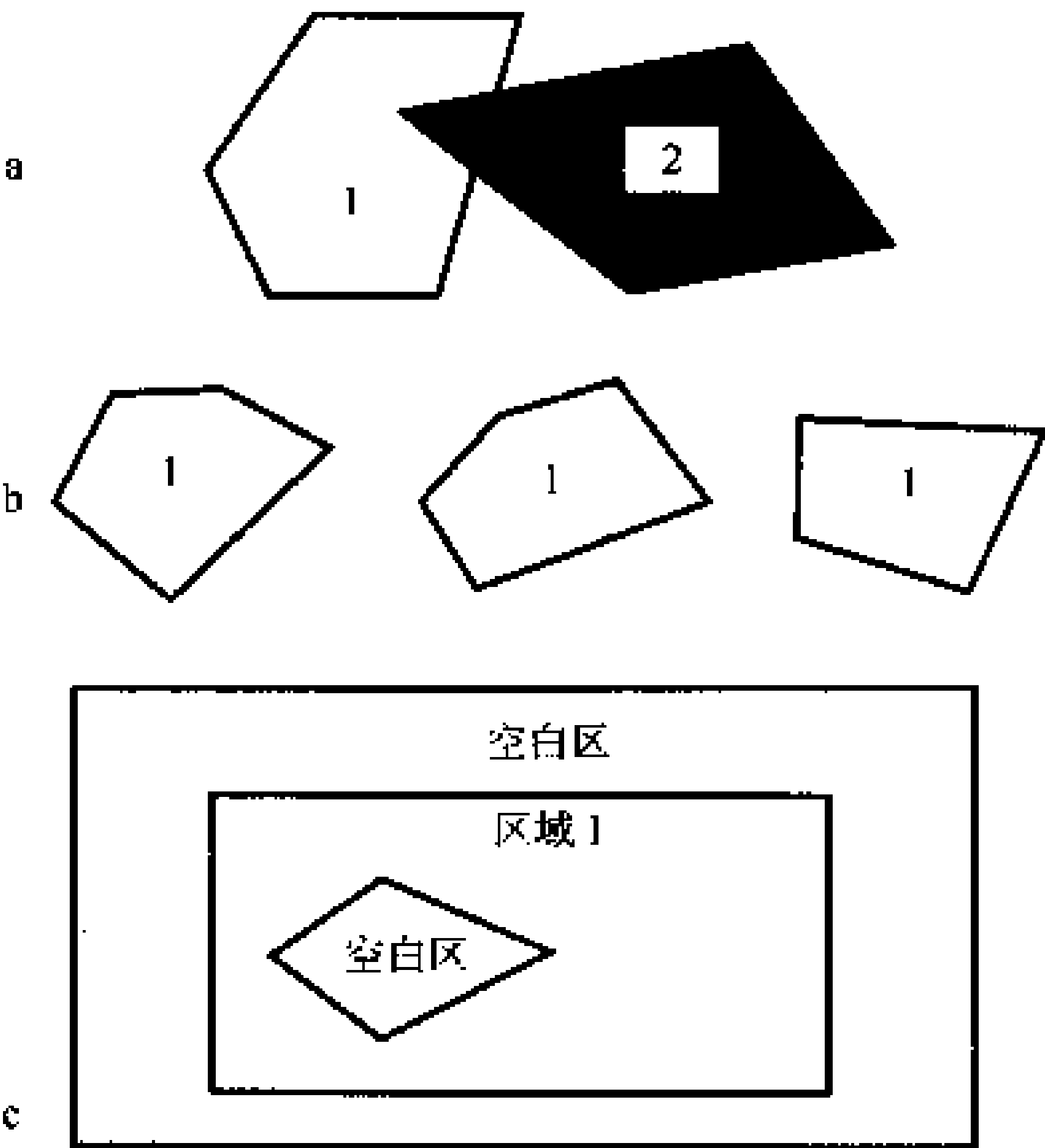


图 3.11　区域数据模型的性质：a——叠置区域；b——有三个组分或圈的区域；c——由一个区域内的小区造成的空白区(void area)和外部区。

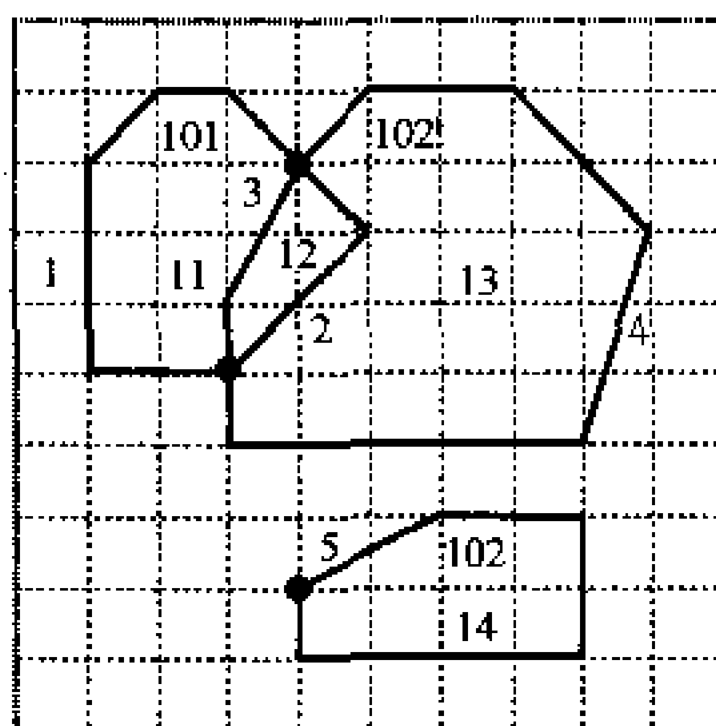
第二，一个区域可以有分离或者隔开的组分。例如，夏威夷州就是一个包括许多岛屿的区域。反之，简单的数据模型要求每个岛是一个单独的多边形。该特性也用于区域的空白范围。因此，国家林地中的私人宗地可作为空白区分出来。

在 ARC/INFO 中，区域层视为一个多边形图层中的亚类。每个区域亚类有其自己的属性。以此方式，一系列区域层可以以同一个多边形图层为基础，称为综合图层。爱达荷 Panhandle 国家林地已建立了一个从 1900 年后期到 1960 年的火情记录的综合图层(注释栏 3.3)。每个火灾年份或时期都作为区域亚类来处理。

一个基于区域的火情图层

爱达荷州 Panhandle 国家林地制备的基于区域的火情图层包括 31 个区域亚类：Pre1886，C1889，C1894，C1900，C1905，F1908-09，F1910，F1911-13，F1914-15，F1917，F1918，F1919，F1920-21，F1922-23，F1924，F1925，F1926，F1927-28，F1929，F1930，F1931，F1932-33，F1934，F1935-39，F1940-49，F1950-59，F1960-69，All_Fires(各次火灾)，Doubles(烧过两次)，Triples(烧过三次)和 Quad_burns(烧过四次)。1905 年之前的森林火灾不够确定，故冠以字母 C 表示大概。Doubles，Triples 和 Quad_burns 分别说明烧过两次、三次和四次的区域。每个区域亚类均有其属性表，包括燃烧面积的英亩数。这个基于区域的火情图层可在 ARC/INFO 或 ArcView 中显示和查询。

区域数据结构由两个基本元素组成：一个关于区域与弧段关系的文件和另一个关于区域与多边形关系的文件。图 3.12 是一个文件结构的示例，具有 4 个多边形、5 个弧段和 3 个区域。区域-多边形清单(region-polygon list)将区域与多边形联系起来。区域 101 由多边形 11 和多边形 12 组成。区域 102 有两个组成部分：一个包括多边形 12 和 13，另一个由多边形 14 构成。多边形 12 是区域 101 与区域 102 的重叠区域。区域-弧段清单(region-arc list)把区域和弧段链接起来。区域 101 只有一个圈，由弧段 1 和弧段 2 的连接而成。区域 102 有两个圈：一个由弧段 3 和弧段 4 连接而成，而另一个由弧段 5 构成。



区域-多边形清单

区域号	多边形号
101	11
101	12
102	12
102	13
102	14

区域-弧段清单

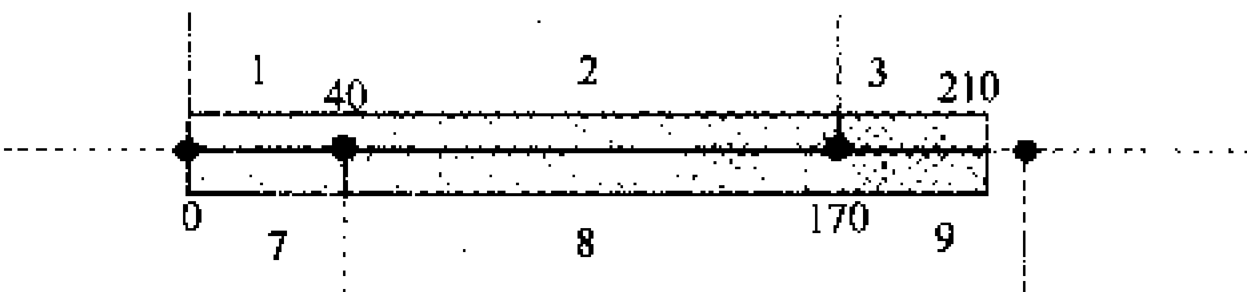
区域号	圈号	弧段号
101	1	1
101	1	2
102	1	3
102	1	4
102	2	5

图 3.12 用于区域数据模型的文件结构。

3.5.3　动态分段

动态分段模型联合图层与线性量测系统诸如里程标志系统(milepost system)而形成高级对象。ARC/INFO 对该模型使用区段(sections)、路径(routes)和事件(events)等基本元素。**区段**直接指线图层的弧段和沿弧段的位置。因为线图层的弧段是基于现实世界坐标系统的一系列 x、y 坐标构成的,并以现实世界坐标来量测。**路径**是区段的集合,区段是表示诸如高速公路、自行车道或河流之类线性现象的。在动态分段模型中,与路径关联的属性数据称为**事件**。诸如路况、事故、限速等事件均以里程标志之类的线性系统量算。但是只要事件带有其位置的测量值,动态分段模型就能把事件与和路径系统联系起来。

图 3.13 说明在名为 ROADS 的线图层中,路径 109 是如何编码为 BIKEPATH 的路径系统的。名为 ROADS 的图层含有许多以细线表示的具有拓扑结构的弧段。以粗阴影线表示的路径 109 是三个区段的集合,编号为 BIKEPATH# 1、2、3 和 BIKEPATH-ID 1、2、3。以 ARC/INFO 的术语,BIKEPATH# 称为机器标识码(machine ID),是由 ARC/INFO 赋予并内部使用的标识码,BIKEPATH-ID 称为用户标识码(user ID),由用户设置和使用。



区段表

路径 链路号	弧段 链路号	始测度	到测度	始位置	到位置	Bikepath	Bikepath-ID
1	7	0	40	0	100	1	1
1	8	40	170	0	100	2	2
1	9	170	210	0	80	3	3

路径表

BIKEPATH	BIKEPATH-ID
1	109

点事件表

BIKEPATH-ID	位　置	属　性
109	40	停车标志

线性事件表

BIKEPATH-ID	始	至	属　性
109	100	120	悬崖

图 3.13　动态分段数据模型。

区段表联系 Roads 中的区段和弧段。区段 1 涉及弧段 7 的全长；因此，FROM-POSITION（始位置）为 0%，TO-POSITION（到位置）为 100%。区段 1 的 FROM-MEASURE（始测度）为 0，因为它是路径 109 的起点。由线图层上测得区段 1 的 TO-MEASURE（到测度）为 40 个测量单位（米或英尺，取决于 ROADS 的测量单位）。与区段 1 相似，区段 2 也包括弧段 8 的全长，其 FROM-MEASURE（始测度）和 TO-MEASURE（到测度）由区段 1 延续。区段 3 覆盖了弧段 9 全长的 80%，因而其 TO-POSITION（到位置）的编码为 80。区段 3 的 TO-MEASURE（到测度）由其 FROM-MEASURE（始测度）加上弧段 9 全长的 80% 计算而得。

图 3.13 中的路径表显示该路径有机器标识码 1 和用户标识码 109。本例中，用 BIKEPATH # 和 ROUTELINK # 的 ID 值 1 把该路径表与区段表链接起来。路径系统的属性数据可直接加到路径表上。虽然属性数据也可包含在区段表中，但他们通常以事件表制备。事件可以是点事件（point events）如自行车道沿线的标志、连续事件（continuous events）如自行车道的斜坡，或线性事件（linear events）如较差能见度的路程。点事件通过其位置（location）测量，连续事件通过其到（to）测量，线性事件通过其始（from）和到（to）测量（图 3.13）。事件表包括路径标识码、位置测量值和属性。

ARC/INFO 有内置命令用于开发动态分段数据模型。ArcView 所用的 “measured polyline shapefile” 除了 x、y 坐标外，还有一个测量值。如果这个测量值是表示沿着一条线的线性距离，则该 shapefile 就可当作 ARC/INFO 中动态分段数据模型的替代。但是把测量值加到 shapefile 的过程较麻烦。

动态分段数据模型中的弧段、区段和路径的等级结构比起弧段-节点数据模型具有许多优点。首先，等级结构允许“一对多”的关系。例如，路径和区段可以使用同一市区街道有效地表示不同的公共汽车路径。相反，用弧段—节点数据模型处理 “一对多” 关系将会是很繁琐和困难的。

其次，动态分段将现实世界位置与在区段表的线性测量结合起来。FROM-MEASURE 和 TO-MEASURE 在线性参考系中起线性测量功能，如同里程标志。但由于 FROM-MEASURE 和 TO-MEASURE 是以线图层为基础的，它们也是地理坐标参照的，亦即参照现实世界坐标系。这种地理坐标参照使它更容易在数据库中将路径系统与其他地理坐标参照图层配准。

第三，动态分段为使用分段的数据提供了更有效的方法，诸如高速公路沿线的路况。而若使用弧段-节点数据模型则需要增加和删除节点来存储分段的数据。

3.6 面向对象的数据模型

面向对象数据模型用对象组织空间数据。不像点、线或面的几何对象，**对象**在这里定义为一组性质，且能根据要求完成操作。据此定义，人们在 GIS 中用到的几乎一切事物均为对象。例如，一幅土地利用图是一个对象，它有其坐标系统和要素类型等性质，且能响应诸如放大、缩小和查询请求。

3.6.1　对象的结构方面

在 GIS 中应用面向对象数据模型所关注的一个领域是对象的结构方面（Worboys 等 1990，Worboys　1995）。用于对象分组的原则包括联合（association）、聚合（aggregation）、综合（generalization）、例示（instantiation）和特化（specialization）（Larman　1997，Zeiler 1999）。

联合是描述两种类型对象之间的关系。如果所有者和地块代表两种类型的对象，那么他们之间的关系可能遵循以下规则：①一个所有者可能拥有一块或更多地块。②一块地块可以被一个或多个所有者所拥有。聚合是整体－局部关系的不对称联合。例如，街区群连接形成一个人口普查片，人口普查片连接形成县。综合是在对象中识别共同点，并将相似类型的对象组成较高级别类型。例如，地块、分区和人口普查片地图可以被组合成称为政区（boundary）的较高级别类型。对象的分类形成等级结构，它把对象组成类型，并把类型组成超级类和亚类。例示是指一类对象可由另一类对象中产生。例如，人口密度大的住宅区对象可由住宅区对象来生成。特化是由一套规则区分出特定类型的对象。例如，道路可以据日平均交通量来区分。

3.6.2　对象的行为方面

在 GIS 中应用面向对象数据模型关注的另一个领域是对象的行为方面（Egenhofer 等 1992）。继承是解释对象行为的基本原则：亚类从超级类继承性质和操作，对象继承亚类的性质和操作。假设住宅区为一个超级类，低密度区和高密度区为亚类。则该类住宅区所有性质均被它的两个亚类所继承。通过继承，在类型谱系中性质只需定义一次。附加性质（例如，非继承的）可以定义为特殊亚类将其与其他亚类区别开来。例如，地块大小可作为一种附加性质加到单独的低密度区和高密度区。

封装（encapsulation）和多态性（polymorphism）是与对象行为方面密切相关的另两个原则。封装指隐藏对象性质和操作的机制，以便对象可通过响应预定义讯息或请求来完成操作。例如，多边形对象可通过返回多边形的物理中心来响应一个所谓 ReturnCenter（返回其中心）的请求。多态性允许在不同对象中以不同方式实现相同的操作。例如，相同的请求 GetDimension（获取其维数）可送到一个点、一条线或一个多边形，但结果取决于要素类型。如果对象是一个点，返回数字 0；如果对象是一条线，返回数字 1；如果对象是多边形，返回数字 2。

3.6.3　面向对象数据模型在地理信息系统中的应用

许多人认为 SmallWorld（现为 GE-SmallWorld）是第一个应用面向对象数据模型的商业 GIS 软件包，但 SmallWorld 的应用受限于设施和通信（http://www.smallworld-us.com/）。在过去几年中与面向对象数据模型有关的发展有两次。第一次是面向对象的宏语言的引入，诸如用于 ArcView 的 Avenue 和用于 MapInfo 的 MapX（注释栏 3.4）。这些宏使用户能改变用户界面或开发专用功能。第二次发展是面向对象编程语言如 Visual

Basic 和 C++ 被 GIS 厂商采用，这些厂商如 Intergraph、MapInfo 和 ESRI 等。这些语言可用于使 GIS 应用软件用户化。

面向对象的用户界面和编程

面向对象数据模型是面向对象技术的一个应用。GIS 用户可能对另外两个应用更为熟悉——用户界面和编程系统。面向对象的用户界面使用图标、对话框和图形对象(glyphs)代替命令行。例如，在 ArcView 中有面向对象用户界面，使用户可通过指向和点击与 GIS 软件包通讯。面向对象用户界面可以对用户所选数据操作的选择限定于定义范围，这样避免操作错误。这就是 ArcView 用户时常发现菜单选项依输入专题而异的原因。

面向对象的计算机语言使用继承、封装和多态化原则，允许程序员根据程序逻辑流程来编写编码。Visual Basic 和 C++就是面向对象的计算机语言的例子。用于 ArcView 的宏语言——Avenue，也是面向对象计算机语言。Avenue scripts(脚本)能修改和扩展 ArcView 的用户界面以及它的分析能力。

在 ArcInfo 8 中，伴随地理关系模型提供的地理数据库模型(geodatabase)，是面向对象 GIS 的最新成员之一。直接面向个人或小组，地理数据库可以由输入的图层、shapefiles 和表格来建立。地理数据库的用户可以在数据库中添加行为(behavior)、性质(properties)和关系(relationships)，并构建分类谱系。

地理数据模型用点、线和多边形几何特征来表示基于矢量的空间要素。点要素可以是一个点的简单要素或一组点的多点要素。线要素是一组线段，连接或不连接的线段均可。多边形要素是由一个或多个圈构成。圈定义为一组连接的、闭合的不交叉的线段(Zeiler 1999)。一个多圈的多边形要素与区域数据模型中含有不连贯组分的区域是相同的。

空间要素的几何学特征存储在地理数据模型中的 geometry 字段中。地理数据模型把空间数据和属性数据这两种数据储存在一个单一数据库，而不是储存在分离的数据系统。这种数据结构与 Oracle Spatial 一样，不但能够排除不同坐标系数据储存的复杂性，而且能减少计算机处理费用。

由于地理数据库模型需要用户之间有关对象结构和行为的通用协议，因此它被普遍采用尚有困难。开发用于特定行业和应用的地理数据库模型是一种途径 (http://www.esri.com/software/arcgisdatamodels/)。即使面向对象数据模型在不久的将来还不能应用于其全部领域，GIS 用户也可以从中发现一些吸引人的概念。例如，ArcInfo 8 为对象分类提供了四种通用的验证规则：属性域、关系规则、连通性规则和用户自定义规则(Zeiler 1999)。属性域用属性的一个有效值域或一组有效值将对象组合为类型或亚类。关系规则将有关联的对象连接起来。连通性规则让用户建立起诸如河流、道路、水体和电力设施等几何网络。而自定义规则允许用户为高级应用创建自定义要素。这些验证规则可防止数据输入错误，以保证数据的完整性。

3.7 空间数据概念

3.7.1 地图比例尺、空间分辨率和空间数据准确度

如前所述，地图比例尺会影响空间要素的表示，如是用线或用面来表示河流。地图比

例尺也是地图准确性的标志，即地图要素直观位置与其真实地面位置的接近程度。1∶100 000 比例尺上地图要素的准确度比 1∶24 000 比例尺地图上的差。USGS 地形图的水平准确度标准规定：不超过 10%的定义明确的地图测试点可能偏离其在 1∶20 000 或更大比例尺出版物上正确位置 0.02 in (0.5mi) (注释栏 3.5)。对于比例尺为 1∶24 000 的地图，0.02 in 的容差相当于地面距离 40 ft；对于比例尺为 1∶100 000 的地图，0.02 in 的容差相当于地面距离 167 ft。

地图精度标准

修订并采用于 1947 年，美国国家制图精度标准(NMAS)为美国地质调查局的地形图等地图的出版建立了精度标准。水平精度标准要求在比例尺大于 1∶20 000 的地图上，不超过 10% 的准确定义的点大于 1/30 in，在比例尺大于 1∶20 000 的地图上，不超过 10% 的点大于 1/50 in。这就意味比例尺为 1∶24 000 的地图的容差在地面为 40 ft。

NMAS 按地图比例尺规定纸质地图的位置精度。因为数字空间数据不受比例尺的限制，空间数据精度国家标准(NSSDA)在美国已经发展以取代 NMAS(http://www.fgdc.gov/standard/)。NSSDA 忽略数字空间数据必须达到的精度测量或阈值，而是鼓励各机构为他们的产品标准建立相应指标。联邦机构一般取 6～12m(20～39 ft)作为 1∶24 000 比例尺地图的容差。

地图比例尺影响一幅地图的详细程度。随着地图比例尺变小，地图的细节数量递减，趋势线概化程度增加了。例如，大比例尺地图上蜿蜒的河流在小比例尺地图上变成相对平直了。因此，GIS 用户必须尽可能为研究区域寻找最大比例尺地图以获得高标准的细节。

虽然地图仍然是空间数据输入的最常见来源，但采用 GPS(全球定位系统) 和遥感影像的新的数据输入方法，可以绕过地图以及用各种方法进行地图综合的工作(Monmonier 1996)。GPS 或卫星图像收集的空间数据的准确性直接与测量仪器的分辨率相关。卫星影像的空间分辨率范围从 1 m 到 1 km。同样地，GPS 读数的空间分辨率范围从几毫米到 100 m。

3.7.2 定位准确性和拓扑准确性

定位准确性是指空间要素位置的准确性。拓扑准确性是指空间要素之间拓扑关系维护得如何。地图比例尺和数据输入过程很大程度上决定了空间要素的定位准确性。另一方面，拓扑准确性，取决于数据输入、GIS 软件包查错能力和 GIS 数据制作者的除错能力。

3.7.3 定位数据的准确度和精确度

定位数据准确度衡量空间要素记录的位置到其地面位置的接近程度，而精确度是衡量位置记录的精确性。记录中的有效数字数目表示记录位置的精确度。例如，距离测量值可用有小数点的数字或四舍五入为米或英尺的整数。存储于计算机中的定位数据的精确度是由硬件的字长(单精度或双精度)以及数据是以整型或以浮点型存储而决定的。例如，

在 ARC/INFO 中图层的坐标存储为单精度的 6～7 位有效数字的实数，或双精度的 13～14 位有效数字。

重要概念和术语

不规则三角网(TIN)：用一组非叠置的三角形来近似表示地形的矢量数据结构。

德老内三角测量：在不规则三角网(TIN)中，把点与其两个最近邻点连接以尽可能形成等角三角形的反复过程。

地图比例尺：地图上距离与地面距离的比值。

点：由单一坐标表示的，且仅有位置几何性质的空间要素，也称节点或折点。

动态分段：基于线图层弧段，并允许使用具有线性测量值的现实世界坐标系的一种数据模型。

对象：具有一组性质且能根据请求运行操作的对象，如地块。

弧段：有两个端点的线段。

节点：线的起始点或终止点。

连接性：保证弧段通过节点相互连接的拓扑关系。

邻接性：弧段有方向且有左多边形和右多边形。

路径：动态分段模型的一种基本元素，用区段的集合表示诸如高速公路、自行车道或河流的线状现象。

面定义：一个面被一系列连接弧段所定义。

面向对象数据模型：用对象组织空间数据的一种数据模型。对象是具有一组性质并且能根据请求运行操作的对象，如地块。

面：由一系列线段构成的且具有大小和周长的几何特性的空间要素，也称为多边形、区域(face)或地带(zone)。

区段：动态分段模型的一种基本元素，直接涉及弧段和沿弧段的位置。

区域数据模型：建立在线和多边形上的，且允许分离组分和重叠面的数据模型。

shapefile：ArcView 中采用的标准非拓扑矢量数据格式。

事件：动态分段模型的一种基本元素，用来把诸如路况、事故和限速等属性与路径关联起来。

矢量数据模型：用点及其 x、y 坐标构造空间要素的数据模型。

图层：ARC/INFO 中采用的标准拓扑矢量数据格式。

图论：用直观图形研究对象排列和对象之间关系的一个数学分支。

拓扑：研究在弯曲或拉伸等适当变换下仍维持不变的几何对象性质的数学分支。

线：由一系列的点来表示且具有位置和长度几何特性的空间要素，也称弧、矢线、链路或链。

应用：矢量数据模型

本章应用部分包括 3 个习作。习作 1 复习拓扑关系和用于简单弧段-节点数据模型的

数据结构。习作2和习作3练习TIN和高级数据模型-区域和动态分段。

习作1　ARC/INFO的图层和shapefile的数据文件结构

所需数据：land.e00，ARC/INFO交换文件。

习作1要求你将交换文件land.e00导入ARC/INFO的一个图层，然后将该图层转换成shapefile。你可以通过打开存储数据的文件夹，查看图层和shapefile的数据结构。

1. ArcView程序组中的Import71是一个能把交换文件转换为ARC/INFO图层的实用程序。双击Import71启动该程序。弹出的对话框要求你输入交换文件名及其路径以及图层文件名及其路径。例如，对话框里的输入内容如下：
   [Export Filename] d:\bookdata\chapter3\land.e00
   [Output Data Source] d:\bookdata\chapter3\land_arc
   与land_arc有关的数据文件存储在chapter3下的两个文件夹中：land_arc和INFO。land_arc包含二进制数据文件诸如arc，pal和lab，而INFO包含land_arc的INFO文件。INFO是ARC/INFO数据库管理程序，而INFO文件都有如arc000dat和arc000nit等一般文件名。如果在chapter3下还有其他的ARC/INFO图层，它们的INFO文件也是放在INFO文件夹内。这使它难以使用拖放方法复制单独的ARC/INFO图层。解决这个问题的一个办法是将ARC/INFO图层转换成shapefiles，其步骤说明如下。
2. 启动ArcView并打开新视图。把land_arc加到视图上。激活land_arc。从Theme下拉菜单中选择Convert to Shapefile。在出现的对话框中，提供shapefile的路径并把它命名为land.shp。把land.shp加到视图上。land.shp实际上是由转换产生的若干文件之一。存储在chapter3文件夹中的其他文件还有land.dbf、land.shx、land.sbn和land.sbx。
3. 在ArcView中可以对shapefiles复制、重命名或删除。但你不能使用这些功能是因为该shapefiles正在使用中。因此，要复制、重命名或删除land.shp，你必须先关闭该项目然后打开一个新项目。打开一个新视图，并从File下拉菜单中选择Manage Data Sources。Shapefile Manager对话框让你指定要对land.shp所作的操作。

习作2　用ArcView作不规则三角网、区域和动态分段

所需数据：emidatin，由数字高程模型制备的TIN；fire，含有区域亚类的多边形图层；highway，基于动态分段模型的网络图层。你需要3D Analyst扩展模块来显示emidatin。

习作2让你用ArcView来查验TIN、区域和动态分段数据模型。这三个数据模型中，TIN是惟一一个可在ArcView中用3-D Analyst扩展模块来创建的（参见第12章）。你必须使用Import 71实用程序导入基于区域或动态分段数据模型的图层。

1. TIN

(1) 启动ArcView，加载3-D Analyst扩展模块。

(2) 打开一张新视图，点击AddTheme按钮。在AddTheme对话框中，选择TIN Data Source作为Data Source Type，并浏览到emidatin。点击OK。

(3) 在目录中对 emidatin 旁的复选框打钩。默认的面符号显示高程范围。这些面符号没有跟随三角形边界。要在 emidatin 中看三角形边界，做法如下：双击 emidatin 打开它的图例编辑器，将把图例换成线状栏目的单一符号，点击 Apply。

(4) 现在点击放大按钮，并选择一个小范围进行放大。每个三角形表示一个面而且有恒定的坡度和坡向。为了验证 TIN 的这些特征，你可以点击 Identify 工具，并在一个三角形里点击几个点。Identify Results 表格应显示相同的坡度、坡向值和不同的高程值，高程值取决于所点击的点位。

2. 区域

(1) 启动 ArcView 并打开新视图。

(2) 点击 AddTheme 按钮。在 Add-Theme 对话框里，浏览到 fire，点击 fire 旁的文件夹图标来打开其内容。见到 fire1(烧过一次)、fire12(烧过两次)和 fire123（烧过三次)区域亚类与多边形等在一起的清单。双击多边形显示 fire 图层。然后双击 region. fire123 显示区域亚类。

(3) 激活 region. fire123 专题，从 Theme 下拉菜单中选择 Table。fire1、fire2 和 fire3 字段及其数值将显示在该表中。

3. 动态分段

(1) 启动 ArcView 并打开新视图。

(2) 点击 AddTheme 按钮。在 AddTheme 对话框中，浏览到 highway，点击 highway 旁的文件夹图标。列表应含有 route. fastroute 和 arc。先双击 arc 显示高速公路网。重复相同步骤把 route. fastroute 加到视图中。你可打开 route. fastroute 表，但该表只列出 ID 值，并不包含属性数据。

习作 3　用 ARC/INFO 作不规则三角网、区域和动态分段

所需数据：emidatin，由数字高程模型制备的 TIN；fire，含有区域亚类的多边形图层；highway，网络图层。

习作 3 让你应用 ARC/INFO 接触 TIN、区域和动态分段数据模型。你将学会查看这些数据模型的数据结构，你也将会在一个网络上创建一个路径系统。

1. TIN

与图层一样，TIN 作为一个目录储存在 ARC/INFO 中。将工作空间改到 emidatin 并列出该目录中的数据文件。你将会看到边界清单、节点清单、node/xy 清单和 node/z 清单。将工作空间改到 emidatin 的上一层。进入 Arcplot 并键入如下命令：

Arcplot：display 9999

Arcplot：mapextent emidatin

Arcplot：tin emidatin

TIN emidatin 显示为一个三角网。靠近边缘的三角形被拉长而不如边界内的紧凑，这是由于靠近边缘缺乏数据点的缘故。TIN 不同于图层，其没有 INFO 文件与之关联。因此你不能进一步查看 TIN 数据模型。

2. 区域

名为 fire 的图层包含有烧过一次、两次或三次的区域。区域数据模型用于叠置多边形是理想的,例如发生过森林火灾的叠置多边形。把工作空间换到 fire,列出该目录下的数据文件。三个区域亚类存储在该目录中。fire1 由至少烧过的一次的区域所组成,fire12 由至少烧过的两次的区域所组成,fire123 由至少烧过的三次的区域所组成。每个区域亚类有一组数据文件,数据文件包括区域-弧段清单(pal)和区域-多边形清单(rxp)。将工作空间换到 fire 的上一层。

要显示三个区域亚类,进到 Arcplot 并键入如下命令:

Arcplot: mapextent fire

Arcplot: arcs fire /* 显示图层 fire 的多边形边界

Arcplot: regionshades fire fire1 3 /* 对至少烧过一次的区域加绿

Arcplot: regionshades fire fire12 4 /* 对至少烧过两次的区域加蓝

Arcplot: regionshades fire fire1232 /* 对烧过三次的区域加红

这三个亚类在计算机屏幕上形成了嵌套区域: fire123 嵌套于 fire12 之内, fire12 嵌套于 fire1 之内。退出 ArcPlot。

接着,进入 Tables 并键入如下命令:

Table: select fire. patfire1

Table: list

该清单显示那些至少烧过一次的区域和发生火灾年份。

Table: select fire. patfire12

Table: list

该清单显示那些至少烧过两次的区域和发生火灾的年份(在 fire1 和 fire2 下)

Table: select fire. patfire123

Table: list

最后,显示烧过三次的区域和这些火灾发生的年份。在 Arc 中的 DROPFEATURES 命令可以删除区域亚类。

3. 动态分段

习作 3 的这一部分,首先你要在网络上定义一个路径系统,然后查验路径系统的数据结构。名为 highway 的图层显示爱达荷州的州道和州际高速公路。要定义一个路径系统,需进到 ArcPlot 并观看该交通网络:

Arcplot: mapextent highway

Arcplot: arcs highway /* 绘出该网络

Arcplot: mapextent * /* 放大该网络的一部分

Arcplot: clear

Arcplot: arcs highway

Arcplot: markercolor 2 /* 把节点设为红色

Arcplot: nodes highway

现在你可以通过键入如下命令在 highway 上定义一个路径系统:

Arcplot: netcover highway fastroute /* 在 highway 调用 fastroute 路径系统

Arcplot：path*/* path 是交互式定义路径系统的命令

Enter point

Enter point

9 to exit

/* 输入两个节点作为路径的起始和终止节点。输入 9 退出。

Arcplot：routelines highway fastroute 3 /* 以绿色绘出快车道

Arcplot：sectionlines highway fastroute /* 以不同颜色绘出快车道的区段

屏幕显示弧段、区段和路径系统之间的关系：区段是基于 highway 的弧段，而 fastroute 是区段集。

为了查看路径系统的数据结构，退出 ArcPlot，在 Arc 提示符下将工作空间改到 highway。在 highway 目录中列出数据文件。你将看到 fastroute 的路径(rat)和区段(sec)的数据文件。将工作空间改换到 highway 的上一层。进到 Tables 并键入如下命令：

Table：select highway. secfastroute

Table：items

你将看到一些项目，这些项目在本章的动态数据模型部分曾讨论过。

Table：list

在该清单的第一个记录的 F-MEAS 值应为 0，因为这是快车道的起始点。在第一个记录中，T-MEAS 值表示第一区段或弧段以现实世界度量单位表示的长度（本例为英尺）。第二个记录是快车道的第二区段。它的 T-MEAS 值应是头两个区段长度的总和。如此直到最后一个记录。最后一个记录的 T-MEAS 值应是整个路径系统的总长度。每个记录的 F-POS 值取决于弧段的方向，不是 0 就是 100。但是，因为路径系统是定义在一个网络上的两个节点之间，所以在任一情况下，每个区段应该涵盖该弧段的 100%。

Table：select highway. ratfastroute

Table：items

你应看到 FASTROUTE# 和 FASTROUTE-ID 等项目。用 LIST 命令来看项目值。在 Arc 中的 DROPFEATURES 命令可以删除路径系统及其区段。

参考文献

Broome, F. R., and D. B. Meixler. 1990. The TIGER Data Base Structure. *Cartography and Geographic Information Systems* 17: 39—47.

Chang, K., D. L. Verbyla, and J. J. Yeo. 1995. Spatial Analysis of Habitat Selection by Sitka Black-tailed Deer in Southeast Alaska. *Environmental Management* 19: 579—589.

Egenhofer, M. F., and A. Frank. 1992. Object-Oriented Modeling for GIS. *Journal of the Urban and Regional Information System Association* 4: 3—19.

Larman, C. 1997. *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR.

Laurini, R., and D. Thompson. 1992. *Fundamentals of Spatial Information Systems*. London: Academic Press.

Massey, W. S. 1967. *Algebraic Topology: An Introduction*. New York: Harcourt, Brace & World, Inc.

Monmonier, M. 1996. *How to Lie with Maps* 2ᵈ ed. Chicago: Chicago University Press.

Robinson, A. H., J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, and S. C. Guptill. 1995. *Elements o Cartography* 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Tsai, V. J. D. 1993. Delaunay Triangulations in TIN Creation: An Overview and A Linear Time Algorithm *International Journal of Geographical Information Systems* 7: 501—524.

Watson, D. F., and G. M. Philip. 1984. Systematic Triangulations. *Computer Vision, Graphics, and Imag Processing* 26: 217—223.

Wilson, R. J., and J. J. Watkins. 1990. *Graphs: An Introductory Approach*. New York: John Wiley & Sons.

Worboys, M. F., H. M. Hearnshaw, and D. J. Maguire. 1990. Object-Oriented Data Modelling for Spati Databases. *International Journal of Geographical Information Systems* 4: 369—383.

Worboys, M. F. 1995. *GIS: A Computing Perspective*. London: Taylor & Francis.

Zeiler, M. 1999. *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands, CA: ESRI Press.

第4章　矢量数据输入

4.1 引　　言

GIS 项目中费用最大的部分是数据库建设。将纸质地图转化为数字地图通常是数据库建设的第一步,但近年来随着数字化数据交换中心(clearinghouse)在互联网上的开放,这种状况已经发生变化。现在作为 GIS 用户在决定创建新的数据前,他的首要的任务是查找公共领域现有的资料。许多私人公司已经介入 GIS 市场,有些公司直接为客户生产新的 GIS 数据,而另一些公司则从公共数据生产增值的 GIS 数据。

虽然由于 GIS 数据可用性的增加使得组织一个 GIS 项目变得较为容易,但是这并未减少在 GIS 中数据输入的重要性。不断产生的 GIS 数据或者进入了英特网或者被出售给用户,当 GIS 用户找不到所需的数字化数据时不得不自己创建。新的 GIS 数据可以从卫星影像、GPS 或纸质地图中产生,GIS 用户可以选择用手扶跟踪数字化或扫描的方法将纸质地图转化为数字地图。

新的数字化地图与用于数字化或扫描的源地图的测量单位必须相同。在一个 GIS 项目中要使数字化的地图可用,必须通过几何变换转为现实世界的坐标。在数字化地图的几何变换中通过建立一系列控制点来处理未定位的区域。均方根(RMS)误差的估算用来衡量几何变换的质量。

本章分为五个部分。第一部分讨论互联网上现有的 GIS 数据,包括来自各级政府和私人公司的例子。第二和第三部分涉及元数据和数据转化模型,这对现有数据的使用至关重要。第四部分概述由卫星影像、GPS 和纸质地图创建新的 GIS 数据,手扶跟踪数字化和扫描也包含在这一部分。本章最后述及几何变换并阐明均方根误差。

4.2 现有的地理信息系统数据

寻找项目所需的现有 GIS 数据往往与知识、经验和机遇有关。各级政府机构为了使公共数据共享(Onsrud 等　1995)以及指导用户查询所需数据而建立了网站,互联网就是一个从非赢利组织和私人公司中查找现有数据的媒介。但在互联网上查找 GIS 数据并非易事,用 GIS 为关键词可能查到上千个匹配的数据,而其中多数与用户无关。互联网的地址可能改变或中止,互联网上的数据格式可能与用户项目所用的 GIS 软件包不兼容,或者有的数据虽然可以使用,但必须经过诸如将研究区从大量的数据中裁剪出来等一系列的处理。

互联网上的大部分 GIS 数据,尤其是来自各级政府机构的数据,属于**框架数据**,适用于多数 GIS 专业用户。通常框架数据包括 7 个基本图层:地理控制点(调查和制图所用的精确定位框架)、正射图像(矫正的图像,例如,正射影像)、海拔高度、交通运输、水系、行政

单元和地籍信息(http://www.fgdc.gov/framework/framework.html/)。本节讨论的现有 GIS 数据引自 2000 年公共机构和私人公司。

4.2.1　公共数据

1. 联邦地理数据委员会

公共数据通常是免费的并可从互联网下载。各级政府允许 GIS 用户通过数据交换中心存取他们的公共数据。对于查找数据的 GIS 用户来说,在由美国**联邦地理数据委员会**(FGDC)维护的网站(http://www.fgdc.gov/) 查找是好的开端。FGDC 与国家空间数据基础设施(NSDI)协同发展,组成 16 个联合机构,其目的是通过各级政府、私人和非赢部门以及学术团体共享地理空间数据。FGDC 网站提供了与地理空间数据交换中心的链接,汇集了美国及海外 100 多个空间数据节点。该网站上还有美国地理空间数据和属性数据的网址目录,这些网站所提供的数据多为免费的。

2. 美国地质调查局

随着美国全国制图计划的实施,美国地质调查局(USGS)成为美国 GIS 数据的主要提供者。它的网站(http://mapping.usgs.gov/)提供了通往 USGS 国家制图和遥感数据的途径,同时还提供了通往有关全国生物信息、地质信息和水资源信息的专题数据交换中心的途径。包括**数字线状图**(**DLGs**)和土地利用/土地覆被数据在内的矢量数据都可以从 USGS 网站下载。DLGs 是对比例尺为 1∶24 000,1∶100 000 和 1∶2 000 000 USGS 的标准地形图图幅的点、线和面要素的数字化表达。DLGs 包括了诸如地貌(如等高线和点的高程)、水系、边界、交通和美国公共土地调查系统在内的数据类型。DLGs 包含属性数据并有拓扑性质。

USGS 还据航片、早期的土地利用图和野外调查,编辑了土地利用和土地覆被(LULC)数据。一级地类包括城市用地或建设用地、农地、牧草地、林地、水域、湿地、荒地、苔原和永久冰雪地。每个一级地类还可以划分为由安德森修订的二级分类方案(Anderson 等 1976),例如,一级地类水域可以进一步划分为河流、沟渠、湖泊、水库、港湾和河口等二级地类。LULC 数据通常以 10acre 或 4hm^2 为最小制图单元。这些数据按州存储,比例尺有 1∶250 000 和 1∶100 000,矢量和栅格格式均有。

3. 美国人口普查局

美国人口普查局提供 1990 年人口普查的**拓扑统一地理编码格式**(**TIGER**)数据库(Sperling　1995)。TIGER 数据库包含了法定统计区域界限,与人口普查数据链接。该数据库还包括道路、铁路、河流、水体、能源线和管线资料。更早的人口普查数据库 GBF/DIME(地理基础文件/双重独立地图编码),成了 TIGER 中 345 个城市中心的制图基础。这个制图基础与由 1∶100 000 比例尺的标准地形图图幅编辑而来的 USGS 数据相一致。TIGER 数据库的属性十分丰富,例如,它包含了全国多数城市区域每片街区两侧的地址号码范围。

4. 州域公共数据举例

美国多数州都设立了州域GIS数据网站(附录3)。例如蒙大拿州,由蒙大拿州立图书馆维护了一个GIS数据网站(http://www.nris.state.mt.us/gis/gis.html/),该网站既有州域数据又有区域数据。州域数据包括诸如人口/地点、土地/水域、政区、地图图幅/格网和环境监测。大部分数据可以ARC/INFO的导出文件和ArcView的shapefile格式下载。

5. 区域公共数据举例

大黄石地区数据交换中心(GYADC)(http://www.sdvc.uwyo.edu/gya/)是联邦地理数据委员会(FGDC)的数据节点,由一批联邦机构、州机构、大学和非赢利组织联合维持。这是惟一一个注重黄石与大提顿国家公园基础框架数据的数据交换中心。

6. 大都市公共数据举例

圣地亚哥政府协会(SANDAG)(http://www.sandag.cog.ca.us/index2.html/)是由圣地亚哥18个城市和县政府主办的大都市数据交换中心。数据可以免费从SANDAG的网站下载,包括行政界线、基础地图要素、区界、土地覆被和活动中心、交通以及敏感的土地/自然资源。

4.2.2 私人公司的地理信息系统数据

大多数GIS公司从事软件开发、技术服务、咨询和数据生产,有些公司还从事在互联网上提供数据或指导GIS用户找到合适的数据源,例如ESRI(环境系统研究所)维护的ArcData Online(http://www.esri.com/data/online/)。GIS用户可以从该网站下载免费数据或商业化数据的样品,可根据地理区域、数据类型或数据提供者来选择数据。

一些公司为顾客提供专用的GIS数据。地理数据技术(GDT)在其网站上提供街道、地址、邮政和人口普查数据库。Etak(现为Tele Atlas North America,http://www.etak.com)为城市中心和农村地区提供道路和地址数据库。

4.3 元数据

元数据提供关于空间数据的信息,它对于需要把公共数据用于自己项目中的GIS用户来说尤为重要。首先,元数据让GIS用户了解公共数据在覆盖范围、数据性质和数据现势性方面是否满足用户的特殊要求;其次,元数据向GIS用户说明了如何处理和解释空间数据;第三,元数据还为需要了解更多信息的GIS用户提供了联系信息。

FGDC制定了元数据的内容标准,这一标准已被联邦机构采用,并用于开发他们的公共数据。FGDC的元数据标准描述了一个以下列各方面为基础的数据集:

(1) 标识信息——关于数据集的基本信息,包括标题、涉及的地理数据以及数据现势性。

(2) 质量信息——关于数据集质量的信息,包括数据位置与属性的精确度、完整性、

一致性、信息来源以及生成数据的方法。

(3) 空间数据组织信息——关于数据在数据集中表示的信息，例如，数据表示方式(栅格或矢量)和空间对象的数量。

(4) 空间参照信息——数据集的坐标编码方式和参考坐标系的描述，例如，地图投影参数或坐标系统、水平和垂直基准面和坐标系统分辨率。

(5) 实体和属性信息——关于数据集内容的信息，例如，实体类型及其属性以及属性赋值域。

(6) 发行信息——关于获取数据集的信息。

(7) 元数据参考信息——关于元数据信息现势性和负责机构的信息。

FGDC 网站(http://www.fgdc.gov/metadata /metadata.html)含有上述元数据标准的详细信息，附录4是一个完整的元数据实例，它描述了来自州域数据交换中心的一个城镇图层。附录4中输入的每条记录都是从适当的信息资源中收集而来。USGS 和 NASA (国家航空航天局)最近已经开发了一种能协助元数据输入的软件工具(Guptil 1999)。

4.4　现有数据的转换

来源于政府或私人的现有数据经常需要做**数据转换**，使数据转换成与 GIS 软件包兼容的格式。由于目前使用的 GIS 软件和数据格式非常多，所以现有数据的转换较为困难。转换方法的选择基本上根据数据格式特性。专有的数据格式要求用专门的数据译码软件作数据转换，而中性的或公共的数据格式要求 GIS 软件包具有能转换这些格式的译码软件(Robinson 等　1995)。

4.4.1　直接转换

直接转换是指在 GIS 软件包中用译码器或算法将空间数据一种格式直接转换成另一种格式(图 4.1)。在数据标准和开放式 GIS 发展以前，直接转换常常是数据转换的惟一方法。由于直接转换方法比其他方法好用，目前它仍是 GIS 用户乐于选择的一个主要方法。例如，ArcView 的译码器用于转换 ARC/INFO 的相互交换文件、MGE 与 Microstation 的 DGN 文件、AutoCAD 的 DXF 与 DWG 文件，以及 MapInfo 文件转换成 shapefiles。同样，GeoMediaye 也可从 ARC/INFO、ArcView、AutoCAD、MapInfo、MGE 和 Microstation 中存取数据并将其一体化。

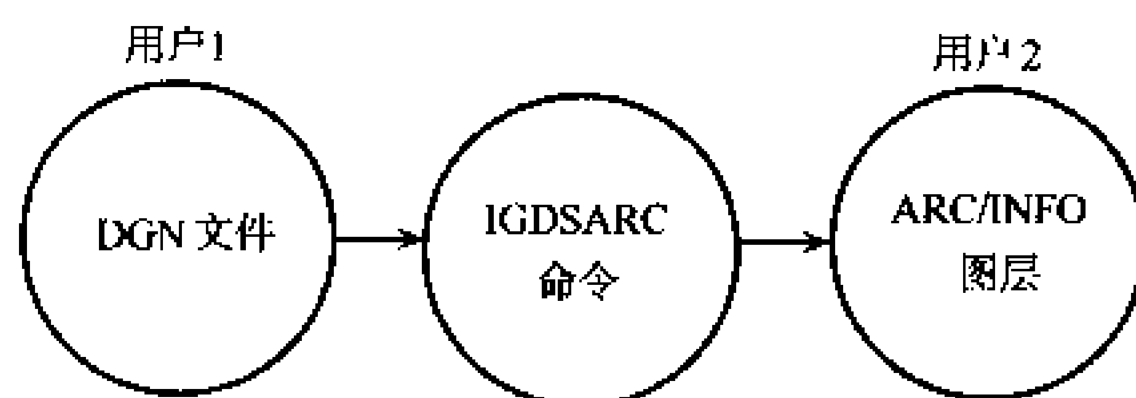


图 4.1　ARC/INFO 中的 IGDSARC 命令把 Intergraph 用户制备的 DGN 文件转换成 ARC/INFO 的图层。

4.4.2 中性格式

中性格式是数据交换的一种公共的或实际的格式。DLG 是 GIS 用户熟悉的一种中性格式。USGS 提供 DLG 文件，另一些政府机构诸如自然资源保持局(NRCS，原为土壤保持局)编发的数字土壤图采用 DLG 格式，这是由于大多数 GIS 软件包拥有可对 DLG 格式操作的译码器(图 4.2)。

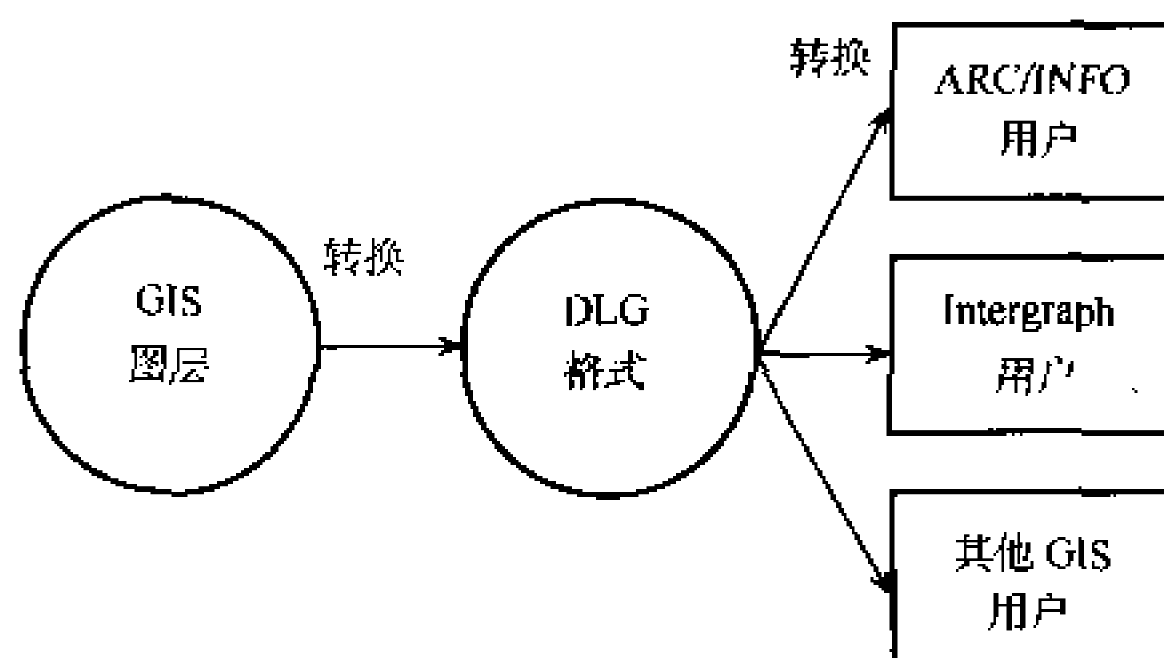


图 4.2 为适应不同 GIS 软件包的用户，政府机构可把公共数据转换成中性格式(例如，DLG 格式)，用 GIS 软件包中的译码器，用户可把中性数据文件转换成该 GIS 所用的格式。

在中性格式中的一个新成员是**空间数据转换标准(SDTS)**(http://mcmcweb.er.usgs.gov/sdts/)。1992 年联邦信息处理标准(FIPS)计划核准了 SDTS，现在联邦机构中强制执行。实际上，SDTS 采用"专用标准"(profiles)来转换空间数据，每种专用标准对应一种特殊的空间数据类型。有两种专用标准特别有用，拓扑矢量专用标准(TVP)主要针对 DLG、TIGER 和其他矢量数据，而栅格专用标准则针对数字正射影像、DEM 和其他栅格数据，这些将在第 7 章讨论。种种迹象表明，SDTS 及其拓扑矢量专用标准和栅格专用标准最终将成为公共数据标准格式，无论这些公共数据是来自于联邦机构，还是州和当地机构。GIS 销售商已经开发了 SDTS 数据的译码器。

对于一个基于地理相关数据模型的庞大的地理数据库，矢量数据产品格式(VPF)是一种标准的格式、结构和组织。国家图像与制图局(NIMA)使用 VPF 作为多种比例尺的数字矢量产品(http://www.nima.mil/)，用于排水系统、交通、行政边界和居住区域的 NIMA 矢量产品也是全球制图国际指导委员会(ISCGM)(http://www.iscgm.org/)所开发的全球数据库的一部分。

尽管中性格式一般为政府机构的公共数据所使用，但它可看做私人公司的"工业标准"。AutoCAD 的 DXF(绘图交换文件)格式就是一个好例子，还有 ASCⅡ 格式。许多 GIS 软件包都可以将含有 x、y 坐标点数据的 ASCII 文件导入数字地图。

4.5 创建新数据

用于创建新数据的数据源包括遥感数据、GPS 数据和纸质地图。遥感数据和 GPS 数据是主要的数据源，原因在于它们是原始数据，而不像纸质地图那样已经过人为操纵和处

理。纸质地图如 USGS 标准图幅是二手数据源。纸质地图已经过综合、概括、符号化等一系列制图处理，每一种处理都会影响绘图数据的精确性。尽管高分辨率遥感数据和 GPS 数据已经成为矢量数据输入的重要数据源，但是纸质地图仍不失为创建新的 GIS 数据的主要数据源。

4.5.1 遥感数据

遥感数据，诸如数字正射影像(DOQs)和卫星影像，都是由传感器远距离获取的数据。虽然它们是栅格数据，但 DOQs 和卫星影像常用作矢量数据输入的数据源。DOQs 是已经过矫正或校正的数字航空照片，除去因照相机倾斜和地形起伏而造成的影像位移。黑白 DOQs 有 1m 的地面分辨率(即图上每个像元对应地面 1m×1m)，并且像元值代表 256 个灰度级。由于 DOQs 将照片的影像特征与地图的几何性质相结合，用作数字化的背景或用于更新现有数字地图很有效(图 4.3)。GIS 用户可以处理卫星影像，提取数据用于制作土地利用和土地覆被、水文、水质和土壤侵蚀区等各种矢量地图。



图 4.3 数字正射影像(DOQ)可用作数字化的背景或更新现有图层。

4.5.2 全球定位系统数据

利用太空卫星作为参照点，GPS 接收机可以在地球表面精确定位(Moffitt 等 1998)。**GPS 数据**包括基于地理格网或坐标系统的水平定位，以及点位的海拔高度，如果选择的话(注释栏 4.1)。用 GPS 对诸如公路等线状地物定位，并可由点位的记录确定线状要素。推广开来，多边形可由 GPS 测定一系列线段来确定。这就是 GPS 成为空间数据输入的有效工具的原因。

全球定位系统数据的一个案例

下列打印输出的是 GPS 数据的一个例子。标题信息显示所用的基准面为 NAD27(北美基准 1927),其坐标系为 UTM(通用横轴墨卡托)。这组 GPS 数据包括 7 个定位点,每个定位点的记录包括 UTM 分带编号(例如,11)、东向(x 坐标)、北向(y 坐标)。这组 GPS 数据不包括高程或雷达高度计(ALT)数值。

H R DATUM
M G NAD27 CONUS
H Coordinate System
U UTM UPS

H	IDNT	地带	东向	北向	Alt	记录
W	001	11T	0498884	5174889	−9999	09-SEP-98
W	002	11T	0498093	5187334	−9999	09-SEP-98
W	003	11T	0509786	5209401	−9999	09-SEP-98
W	004	11T	0505955	5222740	−9999	09-SEP-98
W	005	11T	0504529	5228746	−9999	09-SEP-98
W	006	11T	0505287	5230364	−9999	09-SEP-98
W	007	11T	0501167	5252492	−9999	09-SEP-98

GPS 接收机对地球表面定位的方法类似于三角测量。GPS 接收机用其从卫星接收无线电信号的传播时间测量定位点到卫星的距离(射程),当有 3 颗卫星同时可用时,接收机就能确定其相对于地球质量中心的空间位置(x、y、z)。但为了校正时间误差,要求有第 4 颗卫星参与以准确定位(图 4.4)。而后,接收机的空间位置可据参考椭球转换成纬度、经度和高度。

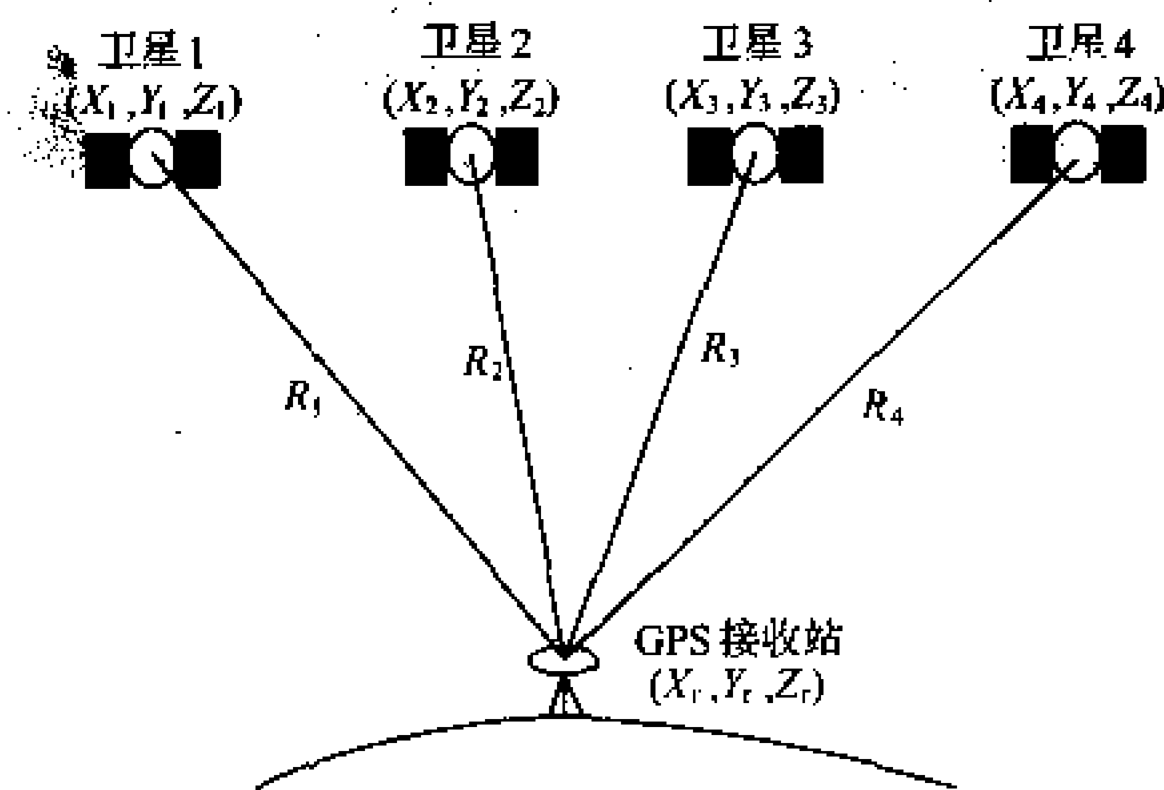


图 4.4 用 4 颗 GPS 卫星来确定接收站的坐标。xj,yj 和 zj 是相对于地球质量中心的坐标,Rj 表示从卫星到接收站的距离。

美国军方在空间维护了由 24 颗 NAVSTAR(导航卫星定时与测距)卫星组成的星座,每颗卫星都有精确的轨道。这使得 GPS 用户在地球上任意一点可同时接收 5~8 颗卫

星。经验表明，选择尽可能分散的卫星，可将 GPS 读数的误差减到最小。

用 GPS 作空间数据输入的重要方面是需要对 GPS 数据作误差订正。第 1 类误差类型是不同来源的"噪声"。虽然卫星轨道十分精确，但两次监测时间之间卫星还存在轻微的位置或轨道的误差。GPS 接收机与卫星之间的距离是由无线电波传播时间乘以光速而得的，而当无线电信号穿越太空和大气层到达地球表面，光速不是恒量。当电波传到地表，在到达接收机者之前，还会因为阻碍物发生反弹，由此所产生的问题称之为多途径干扰。

第 2 类误差是故意误差。例如，为了不让敌对方获得 GPS 精确读数，美国军方过去据其所谓"选择可用性"即"SA"政策，通过向卫星时钟和轨道数据输入噪声来人为地降低精度。2000 年 5 月 2 日，SA 被关闭。没有 SA 的影响，GPS 读数的水平精度至少提高了十分之一。

借助于参考站或基站，**差分校正**可以有效地降低噪声误差。参考站定位在已精确测量的地点。利用这已知位置，参考站的接收机可以计算出 GPS 信号确切的传播时间，然后比较预测时间与实际传播时间的差异，即作为误差校正系数。

参考站接收机计算出全部可见卫星的误差校正系数，这些误差校正系数对在参考站周围 300mi(500km)范围内的 GPS 接收机均有效。GIS 用户通常并不需要实时传送误差校正系数，只要保留测量位置和每一位置测定时间的记录，事后还可作差分校正。在美国，参考站由私人公司或公共机构(如美国海岸警卫队)运作。考虑用差分 GPS 数据的 GIS 用户应找到离其最近的参考站。

与 GPS 误差校正同样重要的是 GPS 接收机的类型。大多数 GIS 用户使用基于电码的接收机(图 4.5)。使用差分校正，基于电码的 GPS 读数很容易达到 3～5m 的精度，一些新型接收机甚至可达到米以内精度。载波相位接收机是另一种 GPS 接收机，主要用于大地控制测量和精确测量，可达到厘米以内精度(Lange 等　1999)。

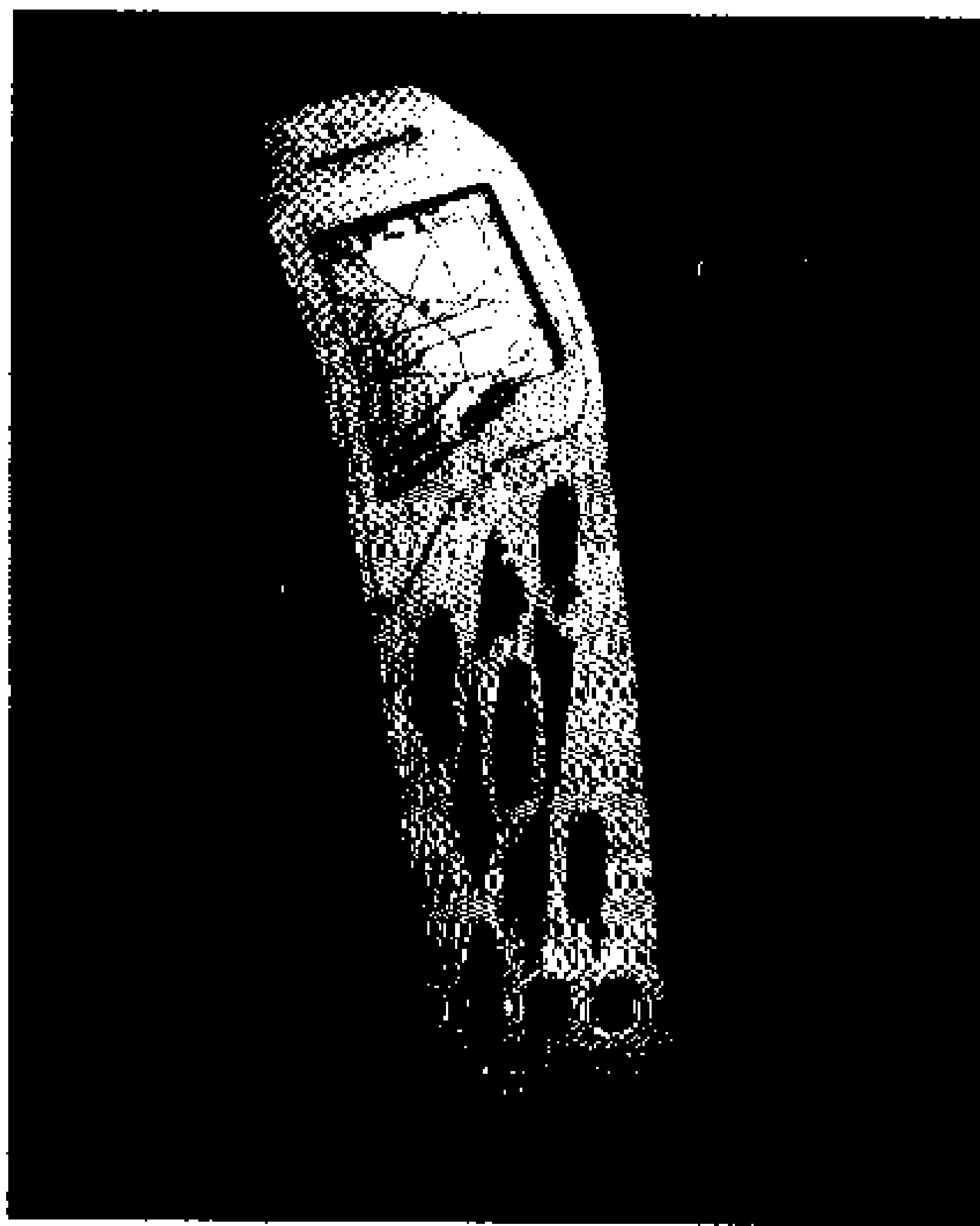


图 4.5　一种便携式 GPS 接收机(Courtesy of Trimble)。

4.5.3　数字化仪数字化

数字化是将数据由模拟格式转化成数字格式的过程。使用数字化仪进行的数字化通

常也称为手扶跟踪数字化(图 4.6)。**数字化仪**有一个内置的电子网,用来感知游标的位置。操作者只要将游标的十字丝对准测量点后点击游标的按钮即可将点的 x、y 坐标传送到与之相连的计算机。大尺寸的数字化仪的绝对精度通常可达 0.001in(0.003cm)。

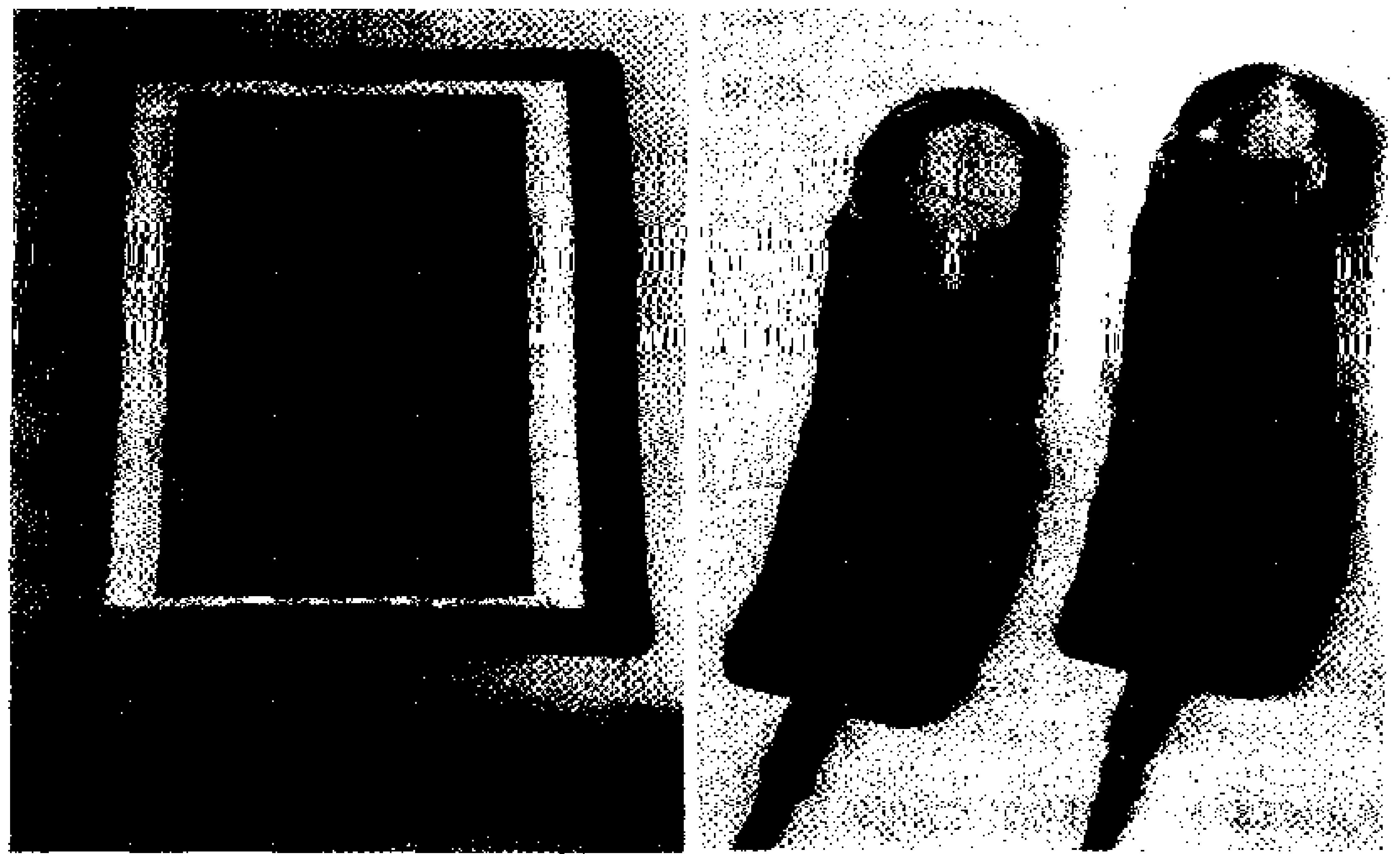


图 4.6 大幅面数字化仪,键区带有 16 个按钮的游标。

GIS 软件包通常含有内置的用于手扶跟踪数字化的数字化模块。基于拓扑的 GIS 软件包具有使数字化的地图建立拓扑关系的功能。例如 ARC/INFO 提供了一系列命令帮助使用者进行数字化。ARCSNAP 命令允许使用者指定距离,在该距离内的弧段将被"捕捉"到已有的弧段(图 4.7)。NODESNAP 命令具有与 ARCSNAP 命令同样的功能,只不过它是把一个节点"捕捉"到已有的节点(图 4.8)。INTERSECTARCS 命令可以计算弧段交叉点数量以及在交叉点上添加节点(图 4.9)。

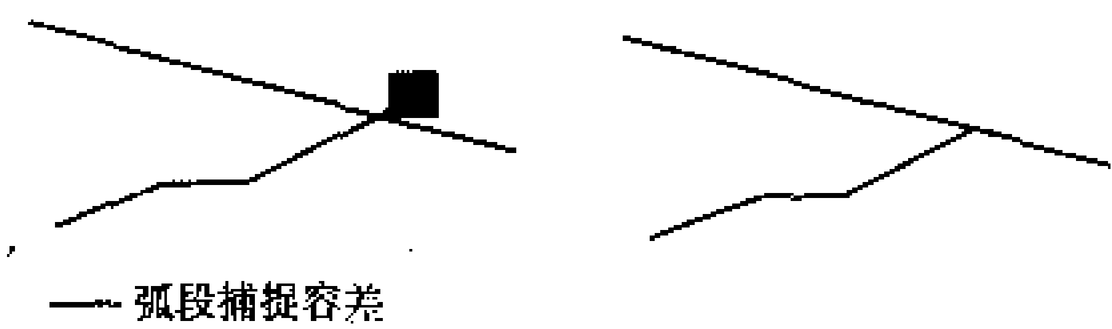


图 4.7 弧段捕捉容差值使得一条弧段的末端被捕捉到另一条已有弧段。左图示数字化弧段超延。因为超延部分小于弧段捕捉容差值,该数字化弧段的末端被捕捉到已有弧段,如右图所示。

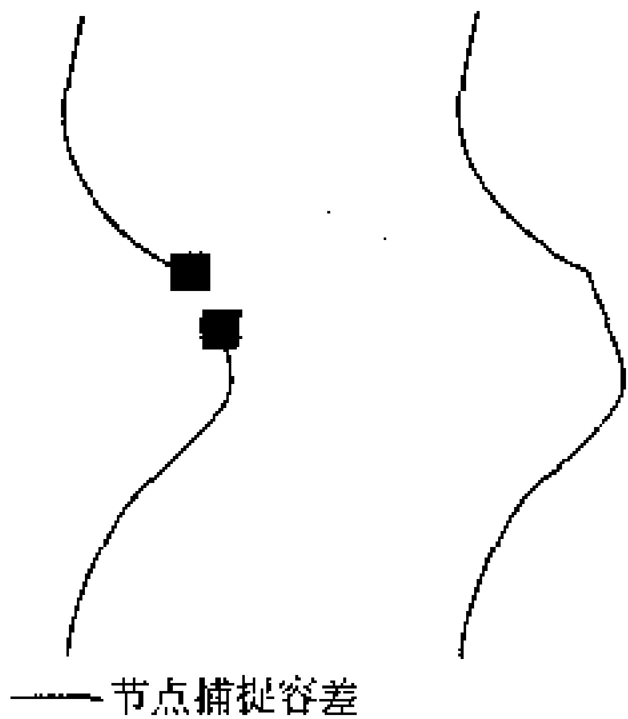


图 4.8 节点捕捉容差值可使节点捕捉到一起。左图示数字化弧段未达到本应到达的终点。由于两节点间距小于节点捕捉容差值,该弧段的末端被捕捉到另一个节点。

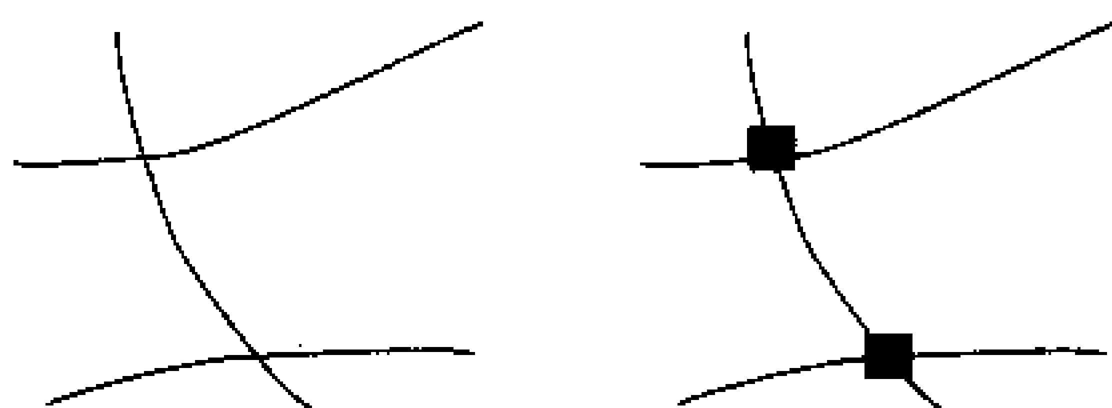


图4.9 相交弧段选项计算弧段相交点，并在相交点上添加节点。左图示相交处未添加节点的数字化弧段，右图示用相交弧段选项创建了节点。

数字化开始时通常需要确定一系列控制点，它们用来将数字化的地图转为现实世界坐标。点要素的数字化很简单，每个点只需点击一下便可记录下它的位置。线或面要素的数字化可以按点模式或流模式。在点模式中，操作者选点进行数字化；在流模式中，按预设的时间间隔或距离间隔进行线的数字化，例如，以每隔 0.01in 的间隔进行线的自动数字化。大多数 GIS 用户更喜欢用点模式，因为用点模式比用流模式建立的数据文件小，并且以直线分段来数字化简单的线要素效率更高。

线或多边形要素的数字化也可分为分离模式或连续模式。在分离模式中，操作者要注意遵循弧段-节点的拓扑关系。线段会合或相交处的点作为节点数字化。在连续模式又称无结构化(spaghetti)数字化中，操作者在对长且连续线条数字化时，GIS 软件包在数字化过程中会自动建立弧段-节点关系。

由于矢量数据模型将多边形看做为一系列线条，所以多边形要素数字化与线条数字化相同，但每个多边形必须在边界内添加一个标识，这个标识用于将多边形和属性数据相连。

虽然数字化本身大多数是手工的，数字化的质量可以通过计划编制和检查得以提高。在对具有公共边界的 GIS 数据库的不同图层进行数字化时，综合处理的方法是十分有效的。例如，土壤、植被类型和土地利用类型在同一个研究区内可能享有公共的边界，对这些边界只数字化一次并用于各图层，不仅可以节省数字化的时间，而且可以确保各图层的匹配。

在对线或多边形要素进行数字化的一条经验法则是每条线仅数字化一次，这样可以避免双线出现。高精度的数字化仪较少出现双线。实际上，双线之间形成了一系列的小多边形，这在编辑中较难订正(图4.10)。一种减少双线数量的方法是：在源地图上蒙上一张透明纸，当一条线被数字化之后即在透明纸上作标记。该方法还可以减少线条丢失的数量。

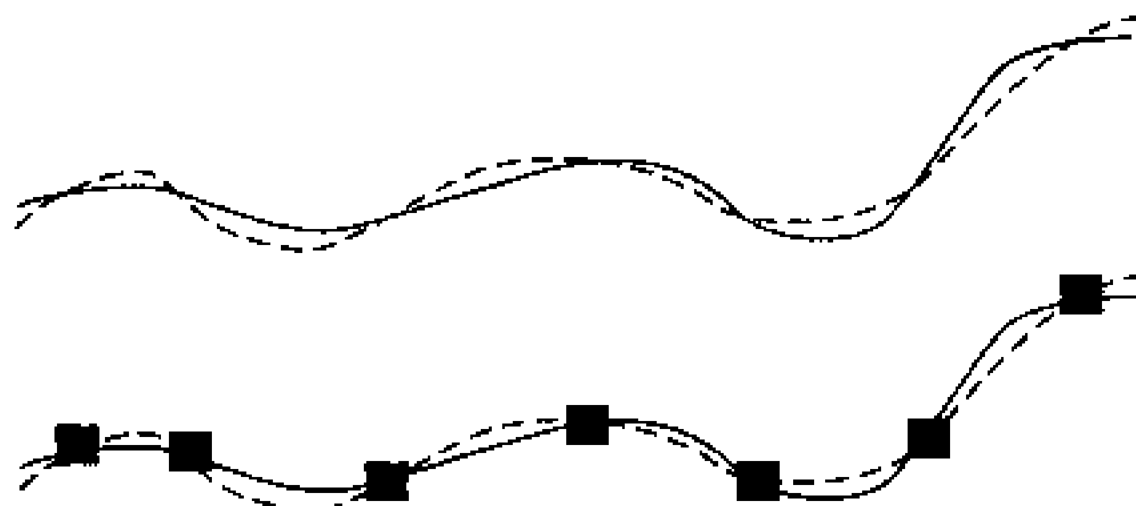


图4.10 在编辑中，双重线将导致一些问题。上图显示同一弧段被数字化两次。在图层的拓扑关系建立之后，双重线的相交点将产生节点。在下图的双线之间产生了一系列小多边形。在编辑中要将多余弧段除去。

4.5.4 扫描

扫描是将模拟地图转化为扫描文件的数字化方法，而后再对扫描文件跟踪描绘把它转回到矢量格式(Verbyla 等 1997)。扫描仪(图 4.11)将模拟地图转换为栅格格式的扫描图像文件。地图通常被扫描为黑白地图：黑线代表地图要素，白色区域表示背景。源地图可以是纸质地图或聚酯薄膜地图、墨绘的或铅笔绘的。扫描将地图转换成栅格格式的二值扫描文件，每个像元值为 1(地图要素)或为 0(背景)。地图要素在扫描文件上表现为一系列像元相连成的栅格线(图 4.12)。像元的大小取决于扫描的分辨率，一般设为每英寸 300 或 400 个点(dpi)。代表源地图上一条细墨线的栅格线可能有 5～7 个像元宽(图 4.13)。



图 4.11 大幅面滚筒式扫描机(Courtesy of GTCO Calcomp, Inc.)。

刻图板和彩色地图也可扫描数字化，因为刻图板基本上是黑白地图的负像，在扫描文件中将 1 与 0 的值颠倒即可。昂贵的扫描仪能识别彩色。USGS 的数字栅格图(DRG)是由 USGS 标准图幅扫描的栅格图像。DRG 有 13 种颜色，每种颜色代表 USGS 标准图幅的一种地图要素。

扫描文件必须矢量化，才算完成数字化过程。**矢量化**是将栅格线转化为矢量线的过程，这个过程称为跟踪描绘。ARC/INFO 等商业化 GIS 软件包提供有用于跟踪描绘的栅格-矢量算法。跟踪描绘包括三个基本要素：线的细化、线的提取和拓扑关系的重建(Clarke 1995)。矢量数据模型中的线只有长度而没有宽度。而扫描文件中的线(栅格

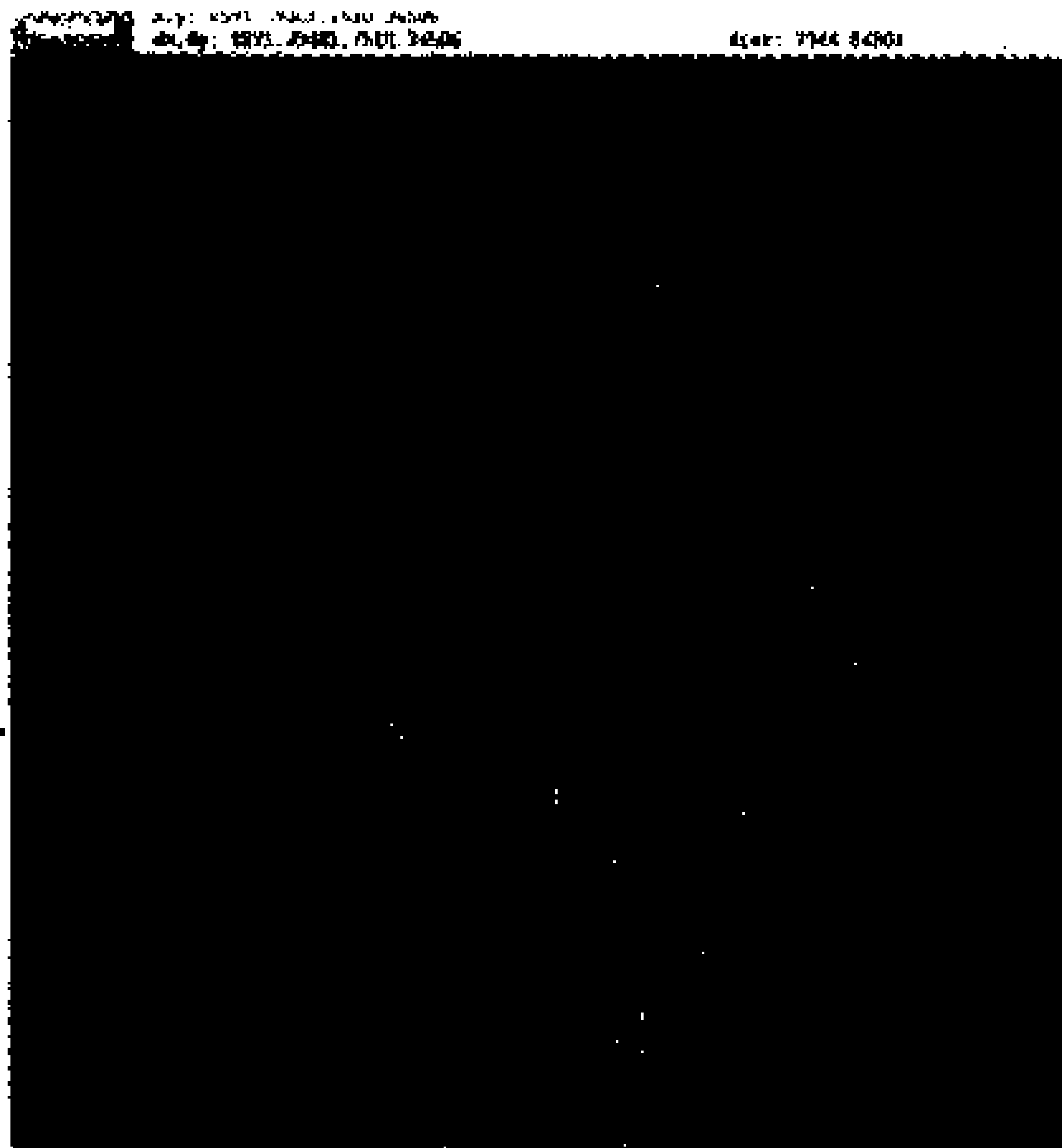


图 4.12　一种二值扫描文件：线条为土壤界线，黑色区域是背景。

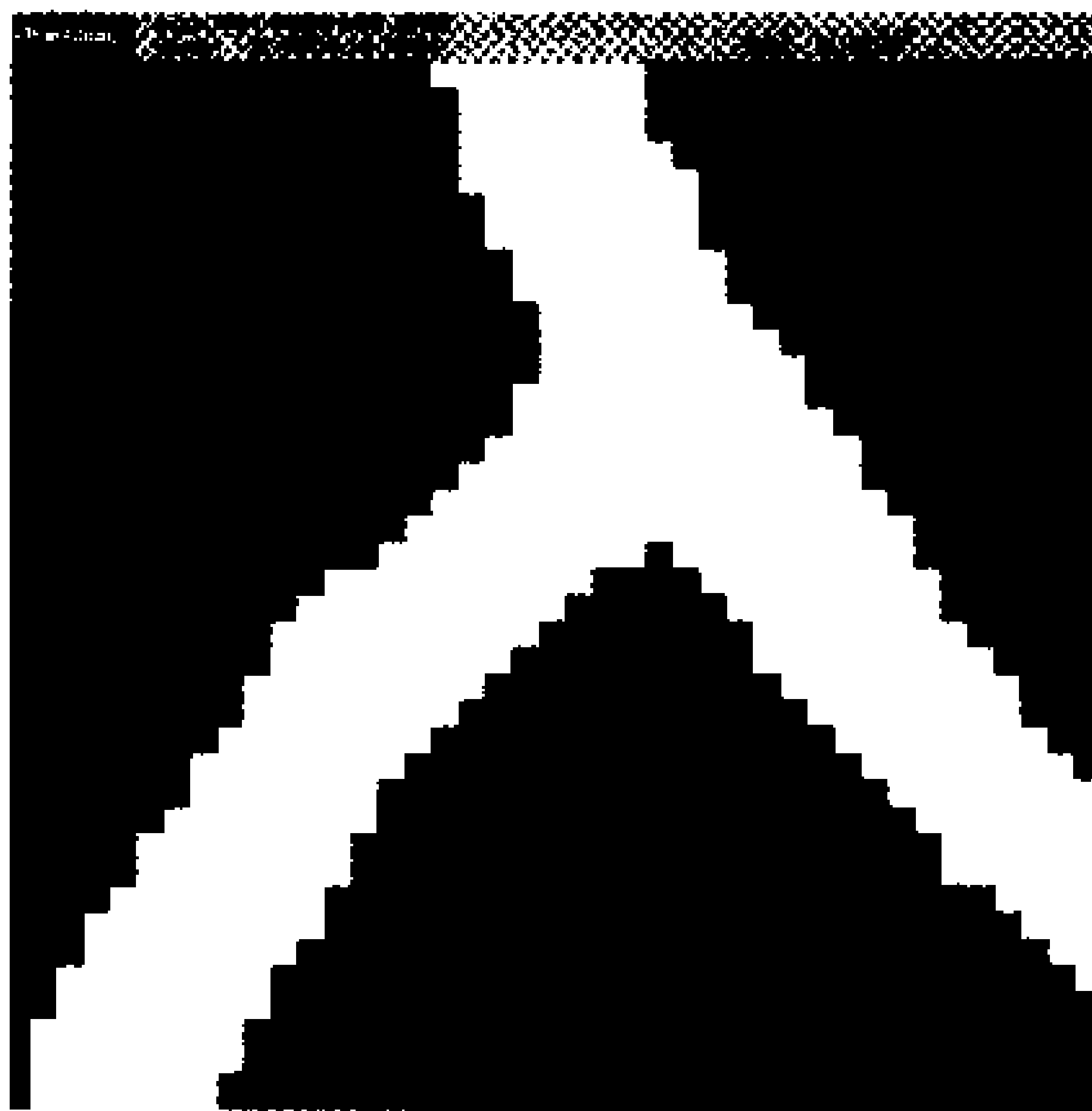


图 4.13　扫描文件上的一条栅格线有好几个像元宽。

线）总是要占几个像元的宽度，为了矢量化，栅格线最好细化到只占据一个像元宽度。线的提取是决定独立线段的起、终点的过程。最后，在由栅格图像中提取出来的线条之间建立拓扑关系。栅格-矢量的转化结果常表现为沿着对角线的步进特点。线的平滑操作可消除那些来自栅格数据的人工痕迹。

跟踪描绘可分为半自动和手工。在半自动模式中，用户在影像地图中选择起始点，让计算机自动跟踪所有相连的栅格线（图 4.14）。在手工模式中，用户确定要跟踪描绘的栅格线和跟踪的方向。

由于几方面原因，扫描比手扶跟踪数字化更受人欢迎：第一，扫描是利用仪器和计算

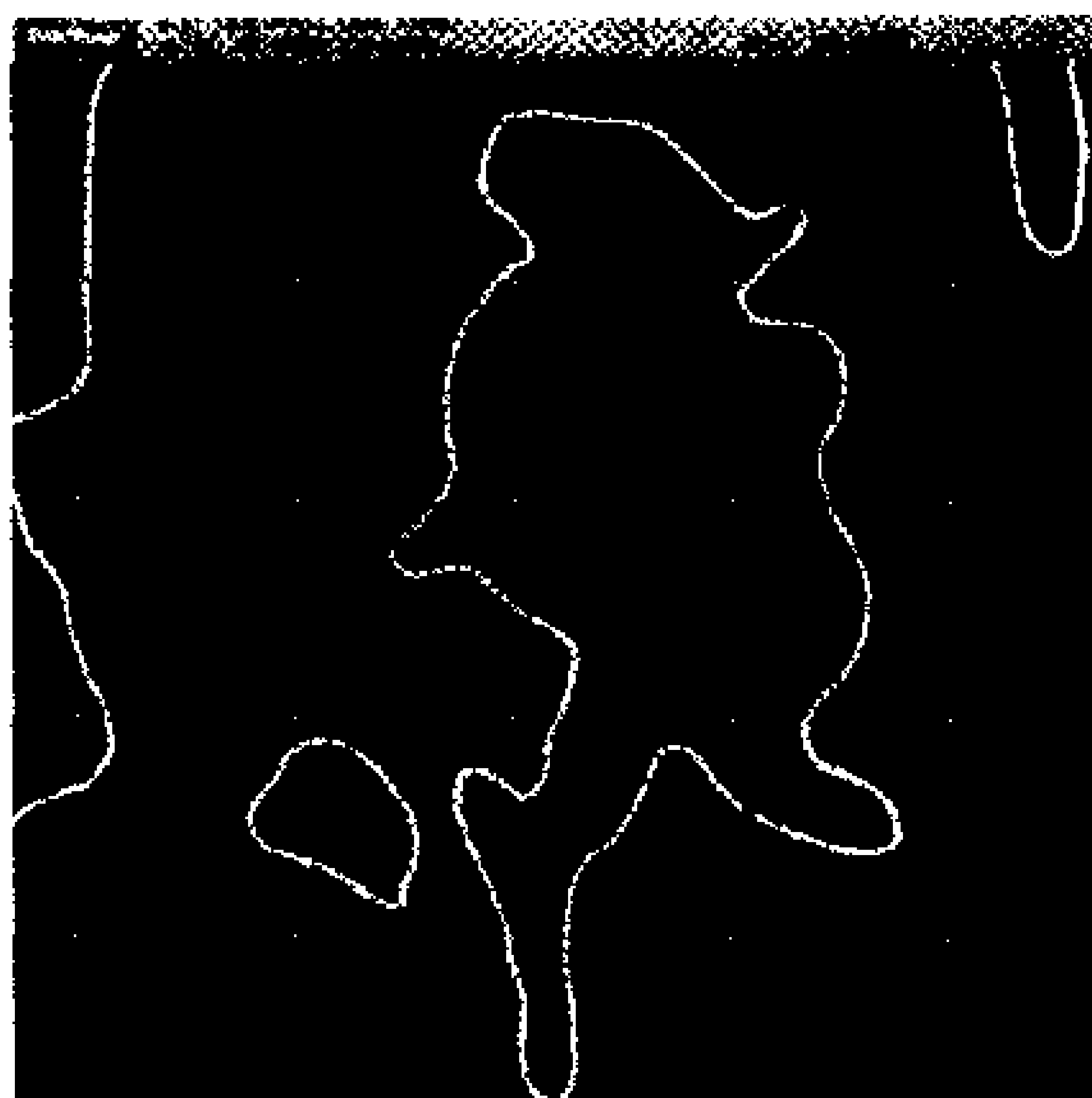


图 4.14 半自动化跟踪始于一个点(箭头处),跟踪与该点相连的所有线条。

机算法完成大部分工作,避免了因疲劳或粗心造成的人为错误;第二,在跟踪描绘时,屏幕上同时有扫描影像和矢量线条,使得跟踪描绘比手扶跟踪数字化更加灵活。在跟踪描绘过程中操作者可以缩放并方便地移动影像地图,而手扶跟踪数字化要求操作者同时注视数字化仪和计算机屏幕,因此操作者容易疲劳;第三,据报道扫描较手扶跟踪数字化在价格上更合算。近年来服务公司的扫描费用已明显下降,扫描一张 USGS 标准图幅黑白地图的费用低于 10 美元。

在扫描数字化中,跟踪算法对栅格-矢量转换起了重要作用。对于不同条件下不同类型地图,单靠一种跟踪算法是不可能产生令人满意的效果。算法必须决定如何在一条 5~7 个像元宽的栅格线上跟踪描绘矢量线。在栅格线会合或交叉点,栅格线的宽度还会 2 倍或 3 倍地增加(图 4.15)。当一条栅格线断开或两条栅格线挨得很近时,算法还必须决定如何继续跟踪。跟踪过程中的小错误是难免的。在跟踪过程中,ARC/INFO 用户可调整参数值,例如,用于线条的交叉点或拐角处的"线条拉直"性质,可根据该地图包含的人为要素(例如,较直的线)或自然因素(例如,较平滑、连续的线)作调整。ARC/INFO 用户可指定需要跟踪的栅格线的最大宽度和栅格线段之间跨接的最大距离。

4.5.5 屏幕数字化

对于编辑或更新现有地图等有限的数字化工作,屏幕数字化是手扶跟踪数字化和扫描之外的又一选择。屏幕数字化是利用诸如 DOQ(数字正射影像图)数据源作为背景在计算机屏幕上进行的手扶跟踪数字化。例如,新的小路或公路,在现有的地图上没有而在新的 DOQ 上有,屏幕数字化就是一种有效的数字化方法。同样地,这个方法可根据新的 DOQ 显示新近砍伐区或焚烧地等新信息,对植被图进行编辑。计算机屏幕的分辨率会是屏幕数字化的一个问题。



图 4.15 当栅格线条会合或交叉时，线宽为原来的两三倍。

4.5.6 源地图的重要性

数字化是将源地图转化为数字格式，因此，数字地图的精确度与源地图的精确度直接相关，数字地图最多只能与源地图的精确度相当。如果源地图的编辑中包含错误，那么错误将传递给数字地图。除了源地图的精确性，其他一些因子也会影响数字地图的精确性。

纸质地图通常不是很好的源地图，因为它们往往会随着温度和湿度的变化而发生胀缩。在更糟糕的情况下，GIS 用户可能是用纸质地图或拼接地图的复件作数字化，源地图就不能产出好的结果。塑料衬背使聚酯薄膜地图比纸质地图更稳定，有利于数字化。

源地图上线条的质量不仅决定数字地图的精度，而且也影响 GIS 用户数字化和编辑的时间和工作量。线条应该是细的、连续的和均匀的，希望如墨绘或刻图一般。毛尖标记笔不能用于画线。铅笔源地图适用于手扶跟踪数字化但不宜用于扫描。扫描文件是二值数据文件，仅是把地图要素与背景区分开。由于铅笔线与背景（例如，纸张或聚酯薄膜表面）的对比度不如墨线明显，需要调整扫描参数以增加对比度。而调整的结果将使已擦除的线条和污迹均能被扫描，这样便搅乱了扫描文件。为让源地图上的文字或符号作为补充信息，可将它们绘成橘黄色就不会被扫描进去。

4.6 几何变换

新的数字化地图的度量单位与用于数字化或扫描的源地图相同。数字化地图必须转换成现实世界坐标如 UTM 坐标，才能用于 GIS 项目。**几何变换**就是利用一套控制点和变换方程，将数字地图或图像从一种坐标系转换成另一种坐标系的过程。

图 4.16 解释了几何转换的一般过程。从数字化一套控制点开始，控制点是已知经纬

度值或现实世界坐标的点。例如,1∶24 000比例尺的USGS标准图幅有16个已知经纬度值的控制点:12个位于标准图幅边界,4个位于标准图幅内。这16个点将标准图幅划分为2.5分经纬度。下一步是将控制点的经纬度数值转换成现实世界坐标。如果已知控制点的现实世界坐标,这一步可以省去。例如,负责GIS服务的州机构可能编有控制点文件,该文件列有州的标准图幅角落点的UTM坐标。从数字化地图复制一幅没有地图要素的空地图,并将其控制点更新为现实世界坐标。最后,通过转换方法和控制点的应用,将数字化地图转换成现实世界坐标。

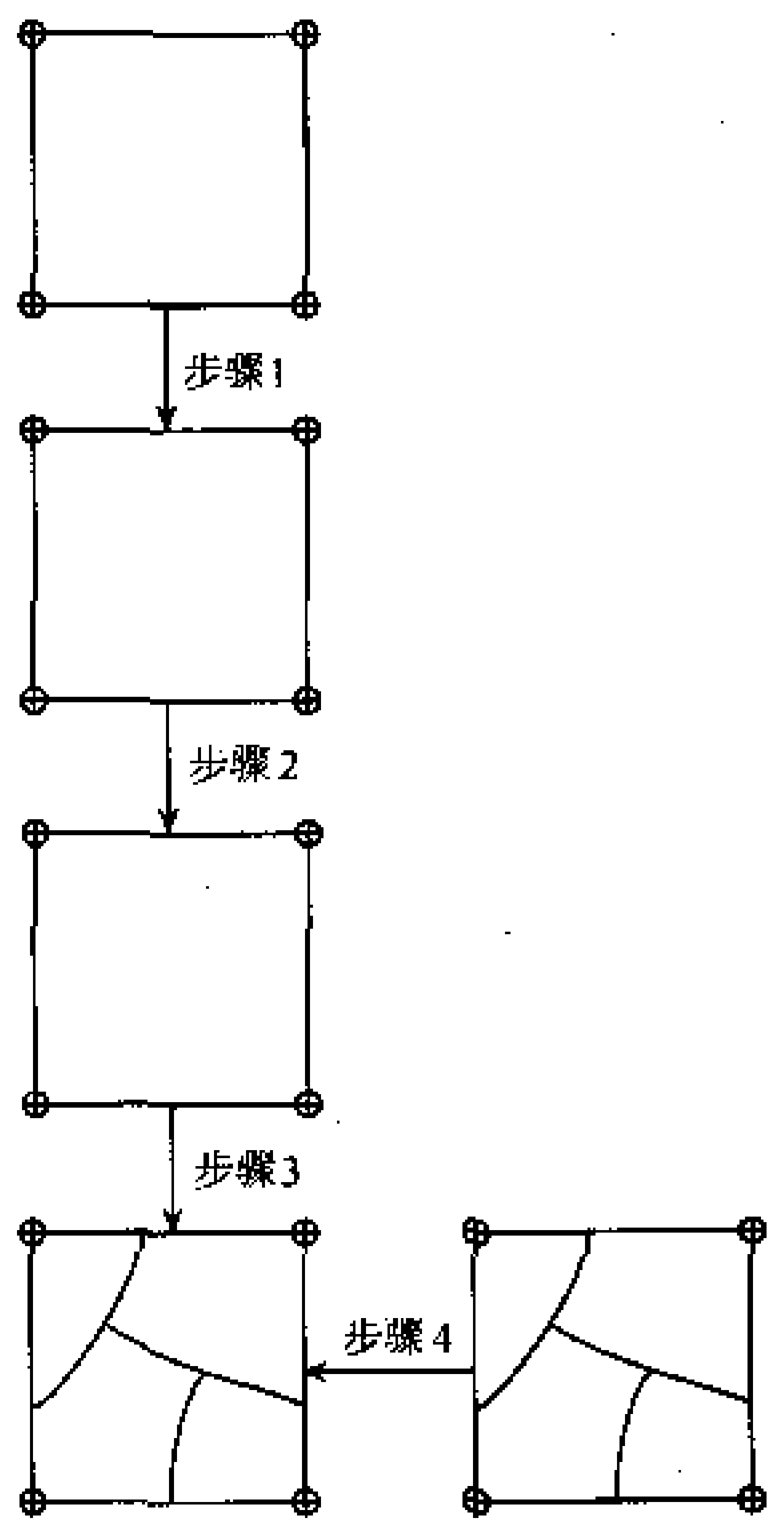


图 4.16 几何变换的典型描述:第一步把控制点(tics)由数字化仪的单位更新为经纬度值;第二步将控制点投影成现实世界坐标;第三步创建一个只有控制点的图层;第四步将数字化的地图要素转换成现实世界坐标,并将它们置于输出的图层。

几何变换有几种方法(Taylor 1977),各种方法的区别在于它所能保持的几何性质,以及对目标的操作和改变,例如,对应于USGS标准图幅的长方形(图4.17)。

(1) 等积(全等)变换:允许旋转长方形,保持形状与大小不变。

(2) 类似变换:允许旋转长方形,保持形状不变,但不保持大小不变。

(3) **仿射变换**:允许长方形角度变形,但保留线的平行性。

(4) 投影变换:允许角度和长度变形,而使长方形变换成不规则四边形。

(5) 拓扑变换:保持对象的拓扑性质,但不保持形状不变,而使长方形变换成圆形。

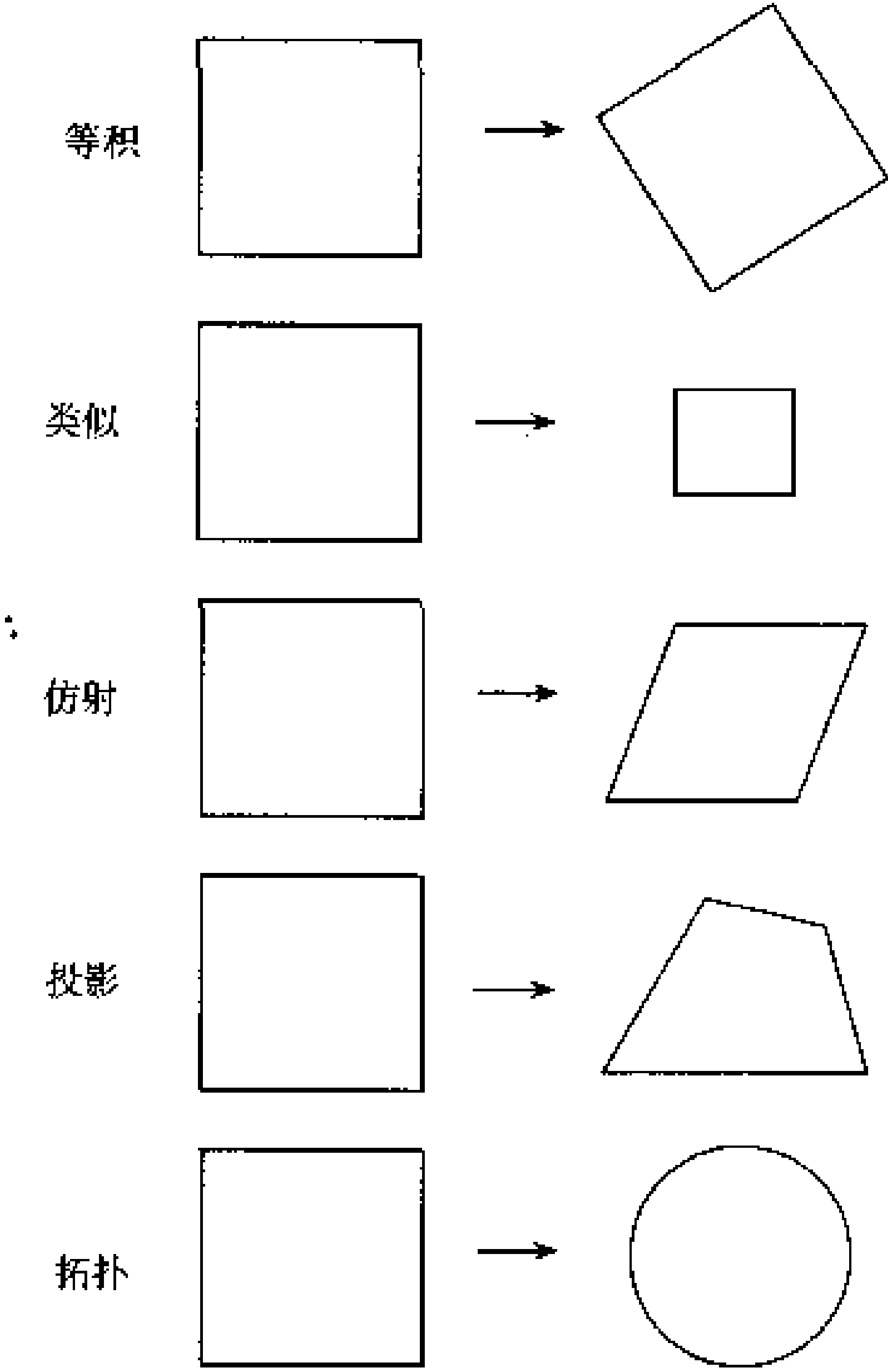


图 4.17　坐标系之间几何变换的不同类型

4.6.1　仿射变换

虽然 ARC/INFO 和 MGE 等 GIS 软件包提供有类似、仿射和投影变换方法，但大多数 GIS 用户是在数字地图和卫星影像上使用仿射变换，在航空相片上使用投影变换。因此，下面把讨论重点放在仿射变换的操作。

在保留线条平行条件下，仿射转换允许对长方形目标作旋转、平移、倾斜和不均匀缩放(Pettofrezzo　1978)。旋转指在原点旋转 x 和 y 轴；平移指把原点移到新的位置；倾斜指以一个倾向将形状改变为平行四边形；而不均匀缩放指在 x 或 y 方向同时或单独增大和缩小比例尺(图 4.18)。

因为地图的几何变换是以控制点为基础的，所以仿射变换及其操作首先作用于控制点。换言之，即把控制点由在数字化地图的位置(又称输入或估计控制点)变成它的现实世界坐标(又称输出或实际控制点)。在数学上，仿射变换表达为一对线性方程：

$$x' = Ax + By + C \tag{4.1}$$

$$y' = Dx + Ey + F \tag{4.2}$$

式中：x 和 y 是数字化的单位；x' 和 y' 是现实世界坐标；A、B、C、D、E 和 F 是转换系数。这些个系数可以由控制点的数字化位置和它的现实世界坐标进行估算。至少 3 个控制点用

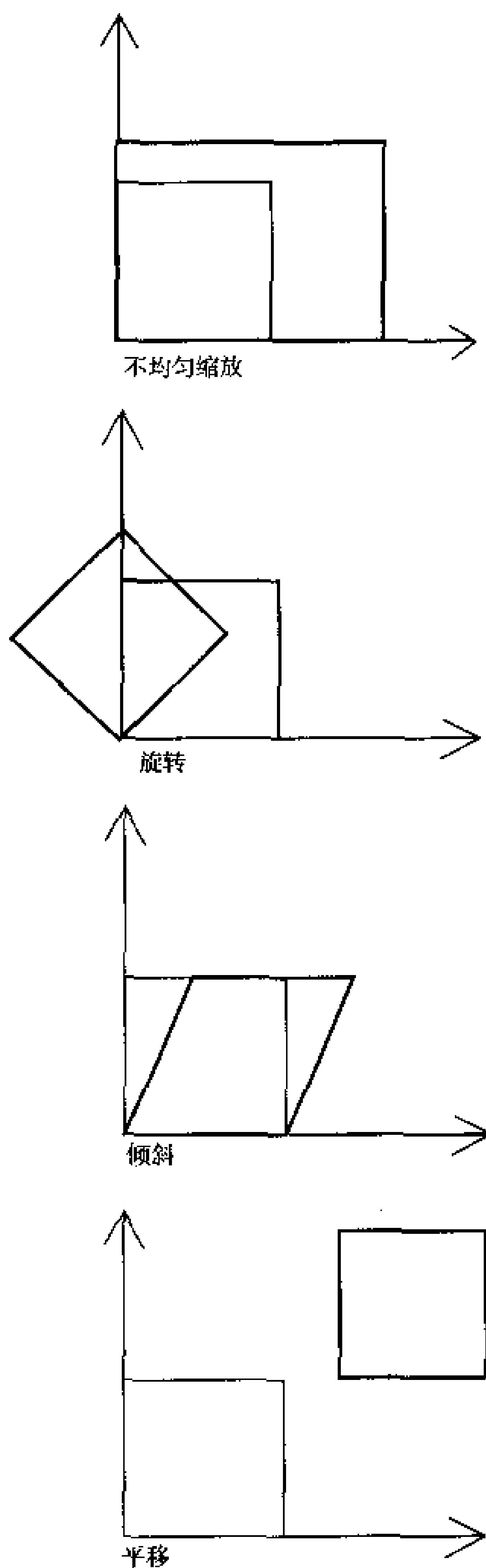


图 4.18 仿射变换中的不均匀缩放、旋转、倾斜和平移。

于估算方能有效，但通常用 4 个或更多控制点来减少测量误差。类似于回归分析，在采用 4 个或更多的控制点时，最小二乘法用来估算变换系数(注释栏 4.2)。在估算系数之后，再将转换方程应用于数字化地图的地图要素，并将其坐标由数字化仪的单位变换为现实世界坐标。

变换系数的估算

本例及本章后续的例子是 1/3 标准图幅之土壤图(美国地质调查局 1∶24 000 比例尺标准图幅的 1/3),以 300dpi 分辨率扫描。该图在角落有 4 个控制点:Tic1 在西北角,Tic2 在东北角,Tic3 在东南角,Tic4 在西南角。X、Y 表示控制点的现实世界(输出)坐标,以米为单位,基于 UTM 坐标系统;x、y 则表示控制点的数字化的(输入)位置。数字化位置的度量单位为 1/300in,与扫描分辨率相对应。下表列出控制点的输入与输出坐标:

Tic-ID	x	y	X	Y
1	465.403	2733.558	518 843.844	5 255 910.5
2	5102.342	2744.195	528 265.750	5 255 948.5
3	5108.498	465.302	528 288.063	5 251 318.0
4	468.303	455.048	518 858.719	5 251 280.0

导出变换系数的一种方法是运行两个多元回归分析:第一是对 x 和 y 回归 X,第二是对 x 和 y 回归 Y。结果为

$A = 2.032, B = -0.004, C = 517\ 909.198$

$D = 0.004, E = 2.032, F = 5\ 250\ 353.802$

另一种估算变换系数的方法是用以下矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} C & F \\ A & D \\ B & E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n & \sum x & \sum y \\ \sum x & \sum x^2 & \sum xy \\ \sum y & \sum xy & \sum y^2 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} \sum X & \sum Y \\ \sum xX & \sum xY \\ \sum yX & \sum yY \end{bmatrix}$$

式中:n 为控制点数目,所有其他符号的含义与前面相同。由该矩阵方程导出的变换系数与回归分析结果相同。

4.6.2 变换系数的几何解释

仿射变换的几何性质可从变换系数中得以解释。系数 C 表示在 x 方向的平移,F 表示在 y 方向的平移,系数 A、B、D 和 E 与旋转、倾斜和缩放有关,方程如下

$$A = Sx\cos(t) \tag{4.3}$$

$$B = Sy[k\cos(t) - \sin(t)] \tag{4.4}$$

$$D = Sx\sin(t) \tag{4.5}$$

$$E = Sy[k\sin(t) + \cos(t)] \tag{4.6}$$

式中:Sx 是在 x 方向的比例尺变化;Sy 是在 y 方向的比例尺变化;t 是旋转角度;k 是剪切因子。倾斜角度可由反正切 arctan(k)导出,方程 A 和 D 依次用于 t 和 Sx 的求解,方程 B 和 E 依次用于 k、Sy 和倾斜角度的求解。ARC/INFO 的 TRANSFORM 命令输出中会列出转换系数和转换的几何性质(注释栏 4.3)。

注释栏 4.3 由 ARC/INFO 的 TRANSFORM 命令得到的结果

利用注释栏 4.2 的数据，以下所示为由 TRANSFORM 命令输出的结果，与变换系数和几何变换的类型相关。

比例尺(X,Y) = (2.032, 2.032)；倾斜(度)= (−0.014)

旋转(度) = (0.102)；平移 = (517 909.198, 5 250 353.802)

仿射 $X = Ax - By + C$

$Y = Dx + Ey + F$

$A = 2.032$；$B = -0.004$；$C = 517\ 909.198$；

$D = 0.004$；$E = 2.032$；$F = 5\ 250\ 353.802$

旋转角为正，指从 x 轴反时针旋转；倾斜角为负，指从 y 轴顺时针移位。两个角度均很小，意味着经过仿射变换，由原始矩形到平行四边形的变化甚微。

4.6.3 均方根误差

控制点在几何变换中起了至关重要的作用。由控制点估计位置与实际位置体现的控制点的质量，决定了几何变换的精度和数字化地图要素的定位精度(Bolstad 等 1990)。控制点的好坏用**均方根(RMS)**误差来衡量，均方根是控制点实际位置(由控制点经纬度数值投影到输出地图上的)与估算位置(输入地图上数字化的)之间偏差的估量。通常每个控制点的均方根误差以及所有控制点的均方根误差平均值均被列出。计算均方根误差的方程如下

$$\text{一个控制点的 RMS} = sqrt[(\text{act}X - \text{est}X)^2 + (\text{act}Y - \text{est}Y)^2] \tag{4.7}$$

$$\text{平均 RMS} = sqrt[(\text{在 } X \text{ 和 } Y \text{ 中偏差的平方和})/(\text{控制点的数量})] \tag{4.8}$$

在 ARC/INFO 的 TRANSFORM 命令的输出中，列出了平均 RMS 和每个控制点的 x 和 y 误差(注释栏 4.4)。为了确保几何变换的精确度，控制点的 RMS 误差必须控制在一定的容差值内。容差值不包含在公布的元数据标准内，它依源地图的精度和比例尺而异。如果 RMS 误差超出容差值，控制点就需要重新数字化，或需输入一些新的控制点。如果 RMS 在可以接受的范围内，则可设想同样精度水平被用于地图要素，精度总是与控制点密切联系的。

注释栏 4.4 由 ARC/INFO 的 TRANSFORM 命令得到的均方根误差

由 TRANSFORM 命令得到结果包括均方根统计。以下所示为利用注释栏 4.3 的数据得到的均方根报告。

这份输出结果显示控制点输入与输出位置的平均偏差，基于 UTM 坐标系统的为 0.280m，基于数字化仪单位的为 0.00 046in(0.138 除以 300)。均方根误差正好落在可接受范围。单个 x 和 y 误差提示在 y 方向的误差略小于 x 方向的误差，平均均方根在 4 个控制点之间均等分布。

均方根误差(输入,输出)= (0.138,0.280)

Tic ID	输入 x 输出 x	输入 y 输出 y	x 误差	y 误差
1	465.403	2 733.558		
	518 843.844	5 255 910.5	−0.205	−0.192
2	5 102.342	2 744.195		
	528 265.750	5 255 948.5	0.205	0.192
3	5 108.498	465.302		
	528 288.063	5 251 318.0	−0.205	−0.192
4	468.303	455.048		
	518 858.719	5 251 280.0	0.205	0.192

如果在数字化控制点或在输入控制点经纬度数值时出现大差错，那么，上述均方根与数字化地图要素位置精度相关联的设想便是错误的。假设我们将先前第三图幅上的控制点 2 和控制点 3(东侧的两个控制点)的位置作平移，对其 x 值增加一个常数，均方根误差将保持相同的值，因为由这 4 个控制点形成的对象保持平行四边形形状。然而，土壤界线却偏离了其在源地图上的位置。如果我们将控制点 1 和 2(上方的两个控制点)的 x 值增加一个常数，并将控制点 3 和 4(靠近底部的两个控制点)的 x 值减少一个常数(图 4.19)，会出现同样结果。实际上，只要控制点的平移保持了平行四边形形状，均方根误差都均维持在容差值之内。



图 4.19　由于输入或估算的 tic 点位置错误导致土壤界线位置的不准确。图中细线代表正确的土壤界线，粗线代表错误的土壤界线。本例中，在三分之一标准图幅(15.4″× 7.6″)上，上部两个控制点的 x 值增加了 0.2″，而下部两个控制点的 x 值减少了 0.2″。

印在纸质地图上的经纬度数值有时是错的，导致结果是：虽然均方根误差值可接受，但数字化地图要素明显错位。设想控制点 1 和 2(上方的两控制点)的纬度数值偏离 10″(例如：用 47°27′20″替代 47°27′30″)，则土壤界线将偏离其在源地图的位置，而变换的均方根误差仍然在可接受的范围(图 4.20)。如果控制点 2 和 3(东侧的两个控制点)的经度数值偏离了 30″(例如，用 −116°37′00″替代 −116°37′30″)，由于仿射变换是按平行四边形进行变换，同样的问题也会发生。虽然我们倾向于认可出版的地图的精确性，但常见其上的经纬度数值出错，尤其是插图(小于常规尺寸的地图)和超大地图(大于常规尺寸的地图)。

GIS 用户通常将源地图的 4 个角点选为控制点，这是合理的。因为这些点上通常标有精确的经纬度数值，而且，用 4 个角点作控制点有助于与周边地图的接边。但是，如果有已知位置的点可用的话，除选取 4 个角点作为控制点外，并不排除选用更多的控制点。如前所述，当选用多于 3 个控制点时，最小二乘法用于仿射变换。因此，较多控制点的利用意味着在变换中整幅地图能生成较好的图层。在另一些情况下，靠近地图要素的控制点应替代角落的控制点，这可保证地图要素位置的准确性。

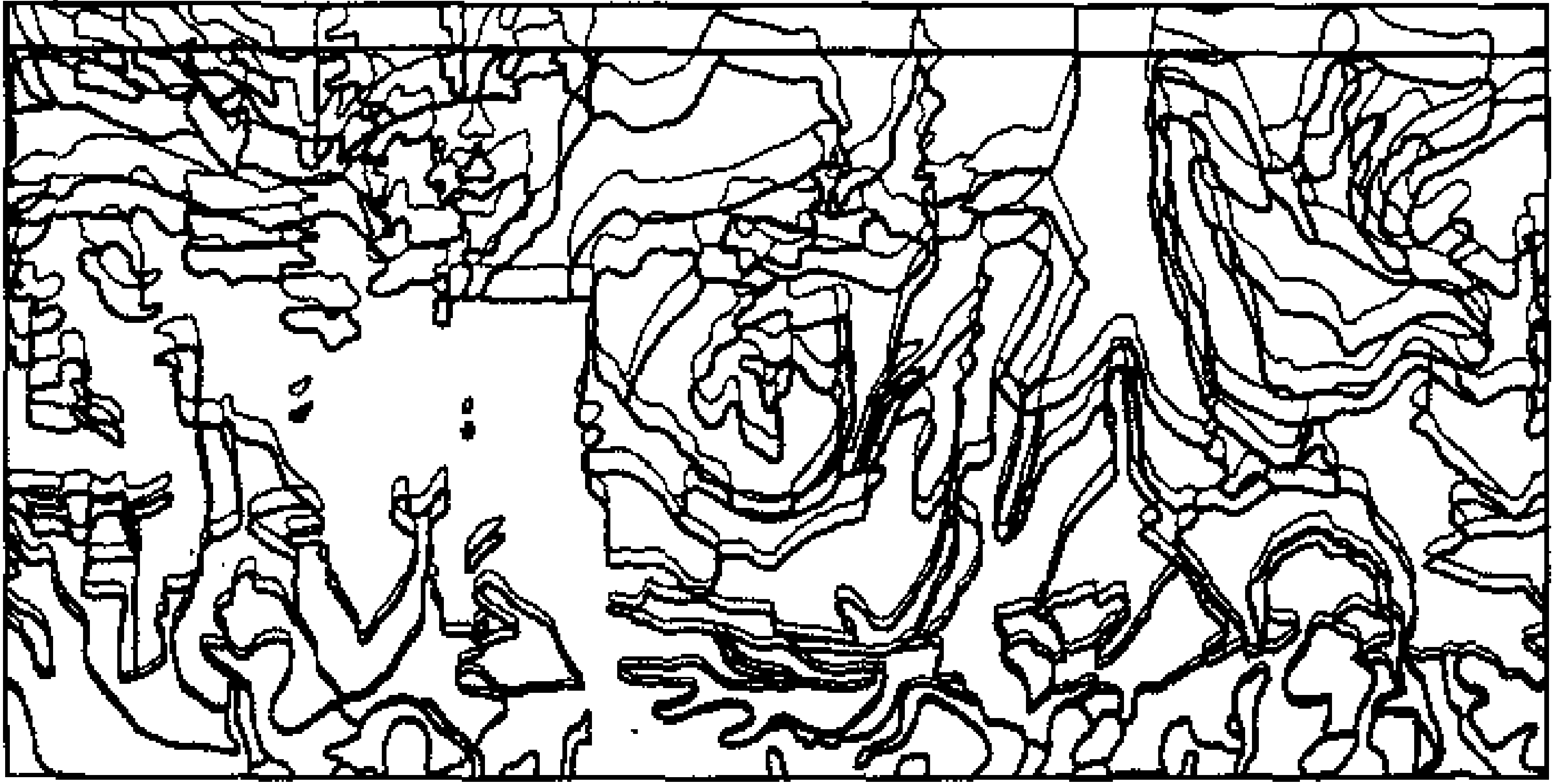


图 4.20 由于输出或实际控制点位置错误导致土壤界线位置不正确。图中细线代表正确土壤界线，而粗线代表错误的土壤界线。在本例中，在三分之一标准图幅上，上部两个控制点的纬度读数偏离了 10″（例如，47°27′20″替代了 47°27′37″）。

重要概念和术语

差分校正：用基站数据校正 GPS 数据噪声误差的方法。

仿射变换：在 GIS 中一种常用的几何变换方法，它允许对矩形对象作旋转、平移、倾斜和不均匀缩放，但保持线的平行性。

几何变换：用一套控制点和变换方程式将地图或影像图从一种坐标系统变换成另一种坐标系统的过程。

均方根误差：在几何变换中，用均方根估算的控制点实际位置和估算位置的偏差。

空间数据转换标准：用于空间数据转换的公共数据格式，诸如来自美国地质调查局的数字化线状图、数字高程模型和数字正射影像。

框架数据：大多数组织常用于 GIS 业务的数据。

联邦地理数据委员会：美国协调空间数据标准开发的多机构委员会。

屏幕数字化：通过利用诸如 DOQ（数字正射影像图）等源数据作为背景，在计算机屏幕上进行的手扶跟踪数字化。

全球定位系统数据：通过导航卫星系统和接收机获得的用于地点定位的经度、纬度和高度数据。

扫描：将模拟地图转换成栅格格式扫描文件的数字化方法，通过跟踪描绘可将扫描文件转换成矢量格式。

矢量化：通过跟踪描绘将栅格线条转换成矢量线条的过程。

数据转换：将空间数据转换为与 GIS 软件包兼容的格式。

数字化：将模拟数据转成数字格式的过程。

数字化线状图：USGS 标准图幅的点、线和面要素的数字化表示，包括等高线、点高程、水系、边界、交通和美国公共土地调查系统。

数字化仪：一个内置有电子网，能感知游标的位置，并能将点的 x、y 坐标传送到与之

相连的计算机的工作台。

拓扑统一地理编码格式:美国人口普查局建立的数据库,它包括法定统计区域边界,可与人口普查数据相链接。

遥感数据:通过传感器从远距离获得的诸如数字正射影像和卫星影像等数据。

元数据:提供关于空间数据信息的数据。

直接转换:用 GIS 软件包中的译码器或算法直接将空间数据从一种格式转换为另一种格式。

中性格式:一种可用于数据交换的公共格式,如空间数据传输标准。

应用:矢量数据输入

本章应用部分涉及矢量数据输入方法。习作1利用互联网上的现有数据。习作2为直接在屏幕上数字化几个多边形。习作3和习作4为如何从 ASC Ⅱ 文件或.dgn 文件生成可用在 ArcView 中的专题。最后两个习作要求使用 ARC/INFO,习作5是利用扫描文件作栅格-矢量转换的练习,习作6是几何变换练习。

习作1 从互联网上下载数字地图

像许多其他的州一样,爱达荷州有一个网站能让 GIS 用户下载导出格式(e00)或 shapefile 格式的 ARC/INFO 的图层。该网站由爱达荷水资源局维护,还提供图层的元数据。习作1示明如何在 ArcView 中导入一个导出格式的文件,并将导入的图层转换成 shapefile。

1. 进到网页:http://www.idwr.state.id.us/gisdata/,点击 GIS Data,再点击 Statewide Data。
2. Statewide Data 表中列出了可下载的图层和供选择的预览 gif、e00、shapefile 和元数据。点击县界(County Boundaries)的元数据,元数据给出关于该图层的信息。在 e00 文件的圆点上点击右键,并在菜单上选择"Save Link As"(或用互联网浏览器的"目标另存为")。文件取名为 idcounty.e00,并指定存储路径。
3. 本习作的第一部分是把 idcounty.e00 导入到 ArcView。从 ArcView 程序组中选择 Import71。在导入对话框中,对 Export File Name 输入 idcounty.e00 文件的路径,对 Output Data Soure 输入 idcounty(导入的图层名)。Import71 即把输入文件转换成 ARC/INFO 的图层。
4. 启动 ArcView,打开一个新视图。浏览到 idcounty 路径,并将该图层加入视窗。选中 idcounty 以显示该图层。
5. 下一步你要把 idcounty 转换成 shapefile。激活 idcounty,在 Theme 下拉菜单中选择 Convert to Shapefile 的命令,把该 shapefile 取名为 idcounty.shp,并指定其路径。在视图中加入 idcounty.shp,显示 idcounty.shp 与 idcounty 完全相同。

习作2 用 ArcView 作屏幕数字化

所需数据:landuse.shp,用来数字化的背景地图。

屏幕数字化在技术上与手扶跟踪数字化相似，所不同的是：①在数字化时用鼠标替代数字化仪的游标。②计算机屏幕的分辨率低于数字化仪。③屏幕数字化时，你需要一个图层、shapefile 或影像(例如，数字正射影像)作为背景。本习作将从 landuse.shp 文件中数字化几个多边形，并成为一个新的 shapefile。

1. 启动 ArcView，打开一个新视图，将 landuse.shp 加入视图。从视图下拉菜单中选择 Properties，对 Map Units（地图单位）和 Distance Units（距离单位）均选"meters"。landuse.shp 已投影过，并以米为度量单位。
2. 在目录中上双击 landuse.shp，打开图例编辑。在 Legend Type(图例类型)中选择 Single Symbol（单一符号），并将 Symbol（符号）改为红色，然后点击 Apply（应用）。将 landuse.shp 符号设为红色是为了与你将要数字化的新 shapefile 区别。本习作不对整个 landuse.shp 作数字化。然后，激活 landuse.shp，在 Theme（专题）下拉菜单中选择 Auto-label（自动标识）。在出现的对话框中，选择 landuse_id 作为 Label Field(标识项)。landuse.shp 文件中的多边形标识为 59～77。但本次习作中，你仅数字化位于左下角的 72～76 号多边形(图 4.21)。

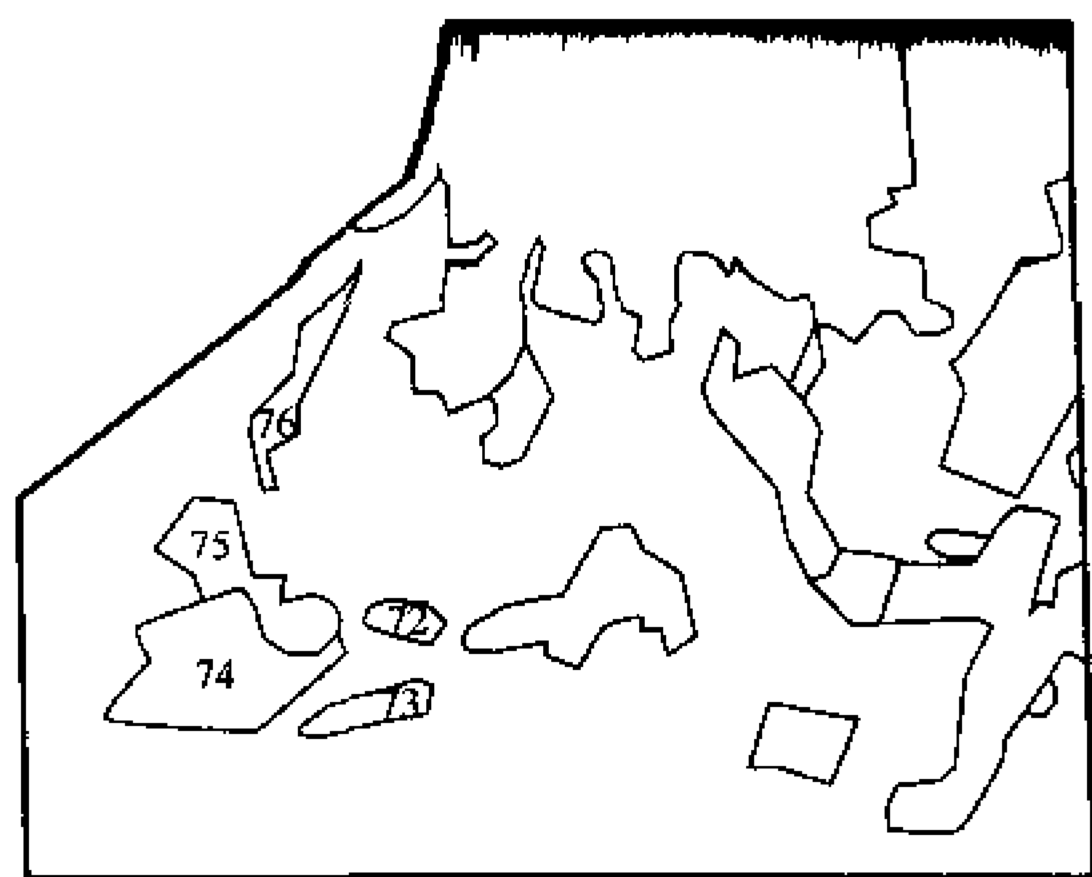


图 4.21　72～76 号多边形为习作 2 所要进行数字化的多边形

3. 从视图下拉菜单中选择 New Theme(新专题)。在下一个对话框中选择多边形作为 Feature Type(要素类型)，把这个新的 shapefile 取名为 trial.shp，并指定其路径。注意此时在目录中 trial.shp 旁的方框是虚线，意为 trial.shp 处于编辑模式。双击 trial.shp 打开图例编辑器，将 trial.shp 符号改为黑色、外框符号。
4. 为了确保要数字化的要素会相交并完全对准，你需要使用交互捕捉选项。激活 trial.shp，从 Theme 下拉菜单中选择 Properties。在 Theme Properties 对话框中，点击目录表中的 Editing，这就打开了 Attribute Updating(属性更新)和 Snapping（捕捉）两个对话框。在本次习作中，你只需使用 Snapping（捕捉）的功能。选中 Interactive，键入 10mTolerance(容差值)，点击 OK。10m 捕捉容差值意味着当数字化两个距离在 10m 范围内的点(顶点)时，这两点将会捕捉在一起。下一步你会了解到，对于数字化而言，10m 是一个较大的容差值。
5. 现在你已经做好了数字化 trial.shp 的准备。放大 72～76 号多边形区域，按下 Draw Rectangle(画矩形)的工具，在下拉菜单中选择 Draw Polygon(画多边形)。有 3 个数字化选项：左击鼠标数字化点(顶点)；右击鼠标打开弹出菜单，它包括诸

如顶点捕捉、交叉点捕捉等选项；双击则为完成数字化。你可从74号多边形开始数字化构成其边界的顶点，数字化最后的点必须回到起始点位置，在你数字化最后一点时，右击鼠标选择顶点捕捉。已经设定的10m容差值此时将帮助你将终点与起点捕捉一起。只要你一双击终点，环绕74号多边形显现操作手柄。如果你不想要已数字化的内容，可点击Delete Key(删除键)擦去74号多边形，重新开始。

6. 74号多边形与75号多边形有一条公共边，因此你不必对公共边数字化两次，将Draw Polygon(画多边形)工具改为Draw Line to Append Polygon(对添加多边形画线)工具。使用这个添加工具，数字化75号多边形时的起点和终点必须落在74号多边形之内。除此，其他数字化步骤相同。
7. 72号、73号和76号多边形是岛状多边形，数字化岛状多边形可以始于任一端点，并止于同一点。
8. 当72～76号多边形数字化好了，从Theme下拉菜单中选择Stop Editing(停止编辑)，并保存编辑结果。
9. 最后，确认trial.shp处于激活状态，在Theme下拉菜单中选择的Table，可看到有5个记录，每个已数字化好的多边形对应一条记录。

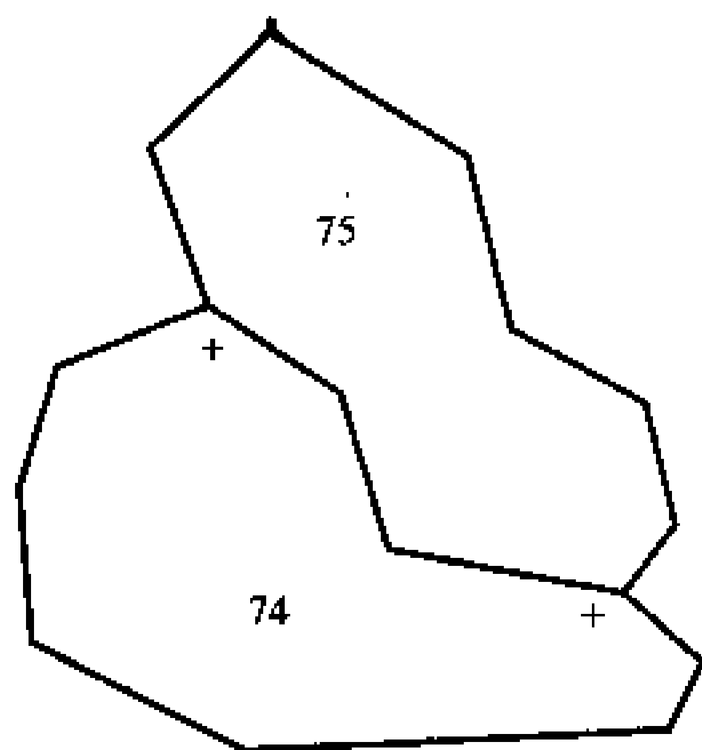


图4.22　在Append Polygon(添加多边形)工具中使用Draw Line(画线)具，要添加的75号多边形的起止点必须落在已数字化的74号多边形之内，如图中加号所示。

习作3　在ArcView中增加事件专题

所需数据：events.txt，一个含有GPS的x、y坐标读数的文本文件。

在ArcView中加入事件专题就是把事件表格的专题加到视图。事件表格的是一个带有x、y坐标的文本文件。events.txt是一个由GPS读数采集的一系列点的x、y坐标的文本文件。习作3示明如何用此文件创建一个新专题。

1. 启动ArcView，并打开一个新视窗。
2. 点击Tables和Add，在Add Table对话框中，首先将文件类型选项改为Delimited Text，然后选择events.txt。在events.txt中的Easting字段是x坐标，Northing字段是y坐标。
3. 从视图下拉菜单中选择Add Event Theme。在Add Event Theme对话框中，指定Easting为x字段，Northing为y字段，点击OK。一个名为events.txt的新专题加入到目录表中，选中该专题，可看到由GPS读数采集的点。

习作 4　在 ArcView 中读 .dgn 文件

所需数据：boundary.dgn，一个显示爱达荷州界和县界的两个图层的微型工作站设计文件。

ArcView 能够读出 CAD(计算机辅助设计)绘图文件，并能由它创建新的专题。所支持的绘图文件格式是微型工作站设计(.dgn)文件、AutoCAD 的 DXF 和 DWG 文件。习作 4 让你读一个简单的 .dgn 文件。

1. 启动 ArcView，加载 Cad Reader 扩展模块。
2. 打开一个新视图，并在视图下拉菜单中选择 Add Theme。在随后出现的对话框中，从 Feature Data Source(要素数据源)作为 Data Source Type(数据源类型)，浏览找到 boundary.dgn，点击 OK。
3. 钩中 boundary.dgn 旁的小框使之显示。boundary.dgn 包含两个图层：州界和县界。按以下操作来显示这两个图层：双击 boundary.dgn 打开图例编辑器，在 Legend Type(图例类型)上选择 Unique Value(惟一值)，在 Value Field(值域)上选择 Layer(图层)，而后点击 Apply(应用)。48 图层包含州界，47 图层包含县界。

习作 5　用扫描输入空间数据

所需数据：hoytmtn_gd，从扫描文件转来的 ARC/INFO 格网文件。

前已述及，扫描数字化包括两个步骤：扫描和栅格-矢量转换。习作 5 只作第二步。扫描文件是图像文件，通常是 *TIFF*(标志图像文件格式)或 *RLC*(游程压缩)格式。对于格网，使用 ESRI 公司用于栅格数据的专有格式，比用 ARC/INFO 中的图像文件更易操作。用于习作 5 的是一幅土壤图的扫描文件，已转为以 hoytmtn_gd 命名的格网。在下列操作中，你要将 hoytmtn_gd 转换成 ARC/INFO 的图层。

1. 在进入 ArcTools 之前，你需要创建一个名为 hoytmtntrace 的空图层，它最终是用于容纳由跟踪 *hoytmtn_gd* 得到的弧段。

   [ARC] create hoytmtntrace hoytmtn_gd

   在 CREATE 命令中通过指定 hoytmtn_gd 确保 hoytmtntrace 的地图范围(BND)与 hoytmtn_gd 相同。
2. 启动 ArcTools：

   [ARC] *arctools*
3. 在 ArcTools 菜单中选择 Edit Tools(编辑工具)，并点击 OK。
4. 在 Edit Tools 菜单中选择 File，在 File 下拉菜单中选择 Grid Open。
5. 在 Select an Edit Grid 菜单中选取 hoytmtn_gd，点击 OK。这一操作导致在 ArcEdit 窗口中显示 hoytmtn_gd，并打开 Grid Editing 菜单。hoytmtn_gd 中含有关于数据来源的文字。在第 6～9 步，所要做的是用 ArcScan 中的格网编辑工具删除这些文字。
6. 在 Grid Editing 菜单中点击 Sketch(绘图)按钮，打开 Sketch 菜单。
7. 在 Sketch 菜单键入“0”作为填充值。

注：hoytmtn_gd 是一个二值层(bi-level)或黑白的文件，填充值“0”相当于背景。

8. 进到 ArcEdit 窗口，在 Pan/Zoom（漫游/缩放）下拉菜单中用 Extent（范围）找到关于数据来源的文字。使用 Fullview（全屏显示）得到 hoytmtn_gd 的完整视图。
9. 在 ArcEdit 窗口看清这些数据来源文字后，点击 Sketch（绘图）菜单中的填充工具（实心方形图标）。按住鼠标围绕这些数据来源文字拖出方框。松开鼠标，这些关于数据来源的文字便消失了。
10. 在 Edit Tools（编辑工具）菜单中选择 File，在 File 下拉菜单中选择 Coverage Open。
11. 在 Select an Edit Coverage 菜单中，点击 Coverages 清单中的 hoytmtntrace。点击 Create New Feature（创建新要素）按钮，打开 Create Feature（创建要素）菜单。
12. 在 Create Feature 菜单的 Feature Class（要素分类）清单中选择 Arc（弧段），点击 Apply（应用）。本次操作是将 Arc 加到 Available Feature（可用要素）清单中。确认 Arc 仍为高亮。点击 OK，出现 Edit Arcs & Nodes。
13. 放大 hoytmtn_gd 以使你能在 ArcEdit 窗口中看见线条。
14. 在 Edit Arcs & Nodes（编辑弧段和节点）菜单中点击 Trace（跟踪）按钮。在沿 hoytmtn_gd 边界且与其他线相连的一条线的始点按下光标，在起点出现一条绿色的线，称为示踪器（tracer）。

注：如同手扶跟踪数字化，不要对同一条线跟踪两次。如果你将起点选在弧段的中间，就有可能发生跟踪两次。

15. 在半自动化跟踪时在键盘上按下 8，已被跟踪的线变成绿色。当所有相连的线都已跟踪返回起点，且用于拉直和综合线条的内置算法已作用于被跟踪的线条之后，绿线变为黄线。
16. hoytmtn_gd 尚未被跟踪的线条有：岛状多边形、沿着边界的多边形和控制点。在 Edit Arcs & Nodes 菜单中点击 Trace 按钮，顺着尚未跟踪的线按下光标，在键盘上按“8”键。
17. 重复以上步骤直至所有的线均被跟踪。每次在一个点上按下光标，出现示踪器；通过点击鼠标中键可改变跟踪方向。点击鼠标左键切换到手工跟踪选项，手工跟踪允许一次跟踪一条线段。

注：在手工跟踪中，你需要经常改变示踪器方向，因为一次只能跟踪一条弧段。

18. 在 Edit Tools 菜单中选择 File，在 File 下拉菜单中选择 Coverage Save。这样将 hoytmtntracej 及其已跟踪线条一并保存。

习作 6 在 ARC/INFO 中对新的数字化地图使用 TRANSFORM 命令

所需数据：名为 hoytmtn 的数字化土壤图，名为 tic.geo 的文本文件

数字化地图 hoytmtn 的度量单位为英寸，它有对应于 4 个角点的 4 个控制点，以度-分-秒（DMS）制表示的经纬度值如下：

TIC-ID	经度	纬度
1	−116 00 00	47 15 00
2	−115 52 30	47 15 00
3	−115 52 30	47 07 30
4	−116 00 00	47 07 30

tic.geo 文本文件含有 4 个控制点的经纬度值(打开 tic.geo 看看该文件是如何准备的)。第一步要在文件选项中使用 PROJECT(投影)命令将 tic.geo 的经纬度值转换为 UTM 坐标,并将新坐标存为 *tic.utm*。

```
[ARC] project file tic.geo tic.utm
Project: input
Project: projection geographic
Project: units dms
Project: parameters
Project: output
Project: projection utm
Project: units meters
Project: zone 11
Project: parameters
Project: end
```

现实世界坐标系统的选择是通过 PROJECT 命令实现的。PROJECT 是一个对话命令,当你键入该命令后,你必须使用 PROJECT 的亚命令来提供诸如 UTM 分带等投影参数。如前段所述,对话由两部分组成:第一部分描述输入数据,而第二部分描述输出数据。每一部分均以参数的亚命令作为结束,以明了指定投影是否需要参数。在本案例中,对地理格网(例如,经纬度值)或 UTM 坐标系统不需要参数。

输出文件 tic.utm 有 4 个 tic 点,其 UTM 坐标如下:

TIC-ID	*x*	*y*
1	575 672.2771	5 233 212.6163
2	585 131.2232	5 233 341.4371
3	585 331.3327	5 219 450.4360
4	575 850.1480	5 219 321.5730

下一步是创建一个名为 hoytmtn2 的空图层,从 hoytmtn 拷贝控制点及图幅范围。

```
[ARC] create hoytmtn2 hoytmtn
```

hoytmtn2 的控制点是以英寸度量的,与 hoytmtn 相似。但是用 PROJECT 命令输出结果,可以在 Tables 中将 hoytmtn2 的控制点更新为它们的 UTM 坐标。最后一步是使用 TRANSFORM 命令,以 tics 作为控制点将图层的剩余部分全部转换为 UTM 坐标。

```
[ARC] transform hoytmtn hoytmtn2
```

参考文献

Anderson, J. R., et al. 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. *U. S. Geological Survey Professional Paper* 964. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office.

Bolstad, P. V., P. Gessler, and T. M. Lillesand. 1990. Positional Uncertainty in Manually Digitized Map Data. *International Journal of Geographical Information Systems* 4: 399—412.

Clarke, K. C. 1995. *Analytical and Computer Cartography*. 2d ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Guptill, S. C. 1999. Metadata and Data Catalogues. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. MaGuire, and D. W. Rhind (eds.) *Geographical Information Systems*. 2d ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 677—692.

Kennedy, M. 1996. *The Global Positioning System and GIS*. Ann Arbor, MI: Ann Arbor Press, Inc.

Lange, A. F., and C. Gilbert. 1999. Using GPS for GIS Data Capture. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. MaGuire, and D. W. Rhind (eds.) *Geographical Information Systems*. 2d ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 467—479.

Moffitt, F. H., and J. D. Bossler. 1998. *Surveying*. 10th ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.

Onsrud, H. J., and G. Rushton (eds.). 1995. *Sharing Geographic Information*. New Brunswick, NJ: Center for Urban Policy Research.

Pettofrezzo, A. J. 1978. *Matrices and Transformations*. New York: Dover Publications, Inc.

Robinson, A. H., J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, and S. C. Guptill. 1995. *Elements of Cartography*. 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Sperling, J. 1995. Development and Maintenance of the TIGER Database: Experiences in Spatial Data Sharing at the U. S. Bureau of the Census. In H. J. Onsrud and G. Rushton (eds.). *Sharing Geographic Information*. New Brunswick, NJ: Center for Urban Policy Research, pp. 377—396.

Taylor, P. J. 1977. Quantitative Methods in Geography: An Introduction to Spatial Analysis. Boston: Houghton Mifflin Company.

Verbyla, D. L., and K. Chang. 1997. *Processing Digital Images in GIS*. Santa Fe, NM: OnWord Press.

第5章 空间数据编辑

5.1 引　　言

空间数据编辑涉及数字地图的错误消除和数据更新。新数字化的地图，无论是多么细心制备的，总会有些错误。从互联网上下载的数字地图本身可能包含来自初始数字化的错误或数据源过时等问题。显示道路、地块、森林总量和其他一些数据的数字地图都要求定期修正和更新。更新数字地图的内容也包含在这一章，因为在新数字化的地图上，更新过程与改错过程基本相同。

空间数据编辑涉及两类错误。定位错误诸如多边形缺失，或与地图要素错误有关的线条扭曲，而另一类错误如悬挂弧段和未闭合多边形等，是与地图要素之间的逻辑不一致有关。要订正定位错误，必须修改单个弧段或数字化新弧段。而要订正拓扑错误，必须清楚所要求的拓扑关系，利用基于拓扑的 GIS 软件包来完成订正。

空间数据编辑可能超出单幅数字地图范围。当研究区范围覆盖不止一张源地图时，编辑范围必须扩展到跨越地图边界的线条匹配的错误。空间数据编辑也包括线条的简化、线条的平滑和不同地图之间地图要素的转换。这些要素的处理可能不直接与定位和拓扑错误有关，但由于其确实涉及对多边形、线条和点的处理，所以将这些操作也在本章介绍。

本章分为六个部分。第一部分讨论定位与拓扑错误，第二部分讨论拓扑编辑与非拓扑编辑；第三部分包括拓扑编辑概述以及使用全局和局部方法订正拓扑错误。第四部分包括边缘匹配，这一编辑操作是确保来自邻接地图的线条沿着该地图边界能完全接合。第五部分讨论非拓扑数字地图的编辑操作。第六部分总结全章内容并介绍其他要素的处理。

5.2 数字化错误类型

5.2.1 定位错误

定位错误关系到数字化地图上地图要素的定位。假设源地图是正确的，则数字化的最终目标是将源地图以数字格式复制。**校核图**是按源地图比例尺绘出的数字化地图，用以确定目标是否达到。GIS 用户可把校核图叠加在源地图上来看两者匹配的程度。通常定位错误的容差由数字地图制作者决定。例如，自然资源保持局(NRCS，前身为土壤保持局)规定在土壤地理调查(SSURGO)数据库内每一条数字化土壤界线必须落在源地图的 0.01in(0.254mm)线宽内。对于比例尺为 1∶24 000 的地图，这一容差值代表地面距离 20ft(6～7m)。

数字化线条与源地图线条之间的差异有几种情景。第一种是因为手扶跟踪数字化中的人为误差。人为误差不难理解：当一幅源地图有数百个多边形和数千条线时，很容易丢

连某些线或错接某些点。

第二种情景包括扫描和跟踪过程产生的错误。正如第 4 章所述，当栅格线条相遇或相交、靠得太近、太宽或太细并断裂时，跟踪算法往往会出问题。跟踪产生的数字化错误包括线的塌陷、线的变形和多余线的产生(图 5.1)。

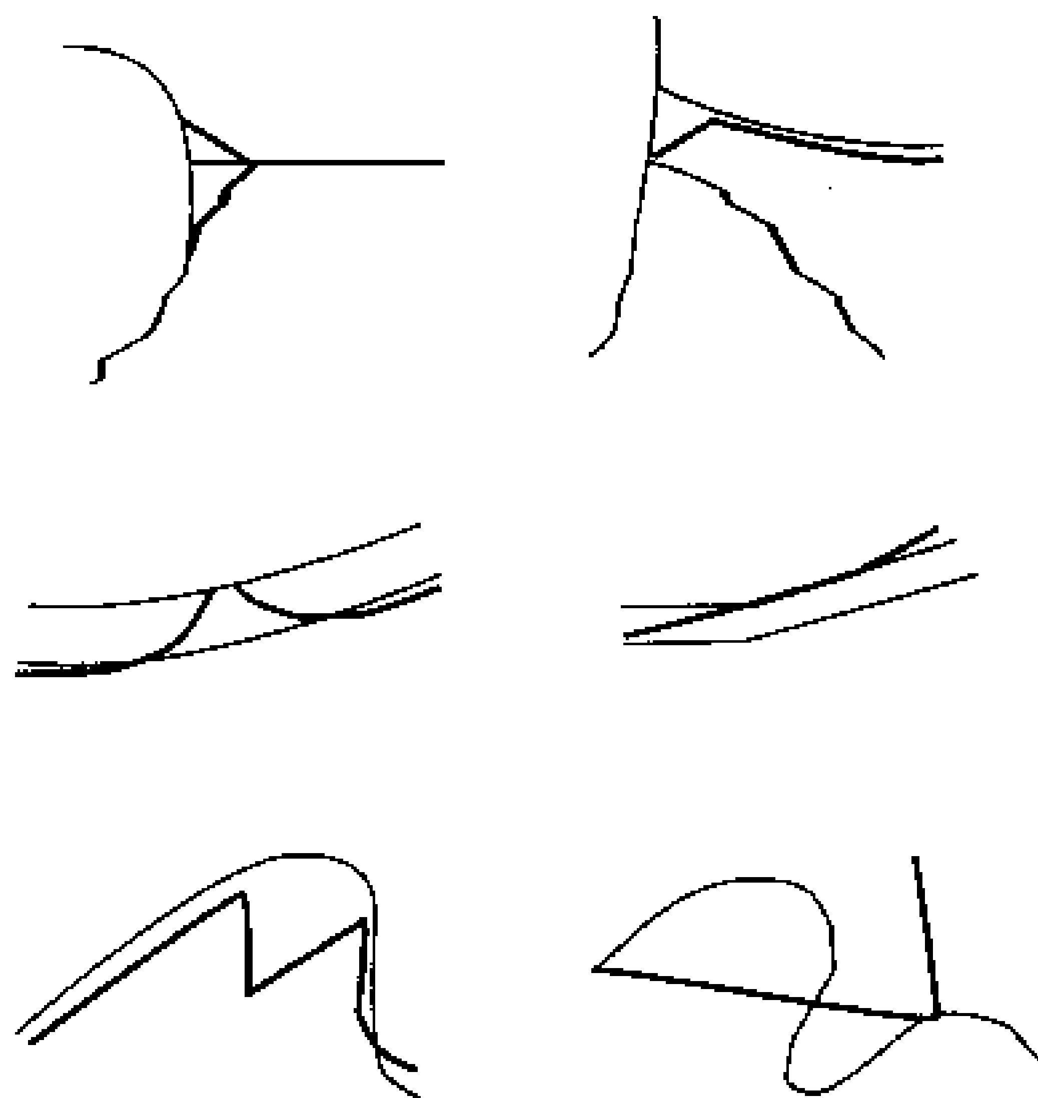


图 5.1　由跟踪形成的常见数字化错误类型。细线为源地图上的线，粗线为跟踪形成的线。

第三种情景是在数字化地图转换为现实世界坐标过程中产生的(参见第 4 章)。绘制一幅与源地图相同比例尺的校核图，必须通过使用一组控制点将数字化地图转换成现实世界坐标。由于控制点的错误，这种转换就可能造成数字化线条与源线条的偏差。不像前两种随机性错误，这种由转换产生的错误常常表现出有规律的模式，例如，偏差在某个方向上递增。要纠正这种定位错误，你必须重新数字化或重新选择控制点并重新运行几何转换。

定位错误也包含手扶跟踪数字化或屏幕跟踪过程中产生的双线。一条线或多边形地图上的每一条弧段只应数字化一次。但在一幅复杂的地图中由于人为错误有些线条会被数字化两次或者多次。在跟踪过程中双线也常有发生，因为半自动化跟踪总是跟随延续不断的线条，尽管其中有些线条已经跟踪过了。由于手扶跟踪数字化中所用数字化仪的高分辨率和屏幕跟踪过程中的多像元栅格线，无论手扶跟踪数字化或是屏幕跟踪所产生的双线都不可能互相叠置。如果建立了地图拓扑关系，这些双线相互交叉便形成一系列小多边形，而每个小多边形都缺失标识点(图 5.2)。若不放大，双线有时很难察觉。

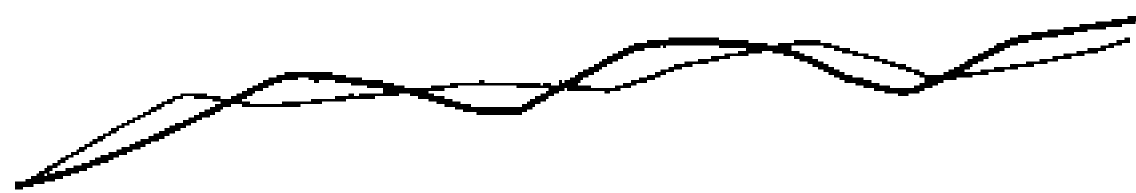


图 5.2　由双线形成的数字化错误包含细长多边形且缺失标识点。

5.2.2　拓扑错误

拓扑错误妨碍拓扑关系在 GIS 软件包中的应用。本应在一个节点接合的两条弧段而

没有完全接合时，便出现拓扑错误。如果在弧段之间存在缝隙，这种错误称为未及或欠头(undershoot)，而如果弧段过长则称过伸(overshoot)(图 5.3)。这两种情况都将产生**悬挂弧段**(dangling arc)，悬挂弧段左右两侧实际属同一多边形，在弧段的结束点，则产生**悬挂节点**(dangling node)。悬挂节点也常产生于多边形不完全闭合的情况下(图 5.4)。

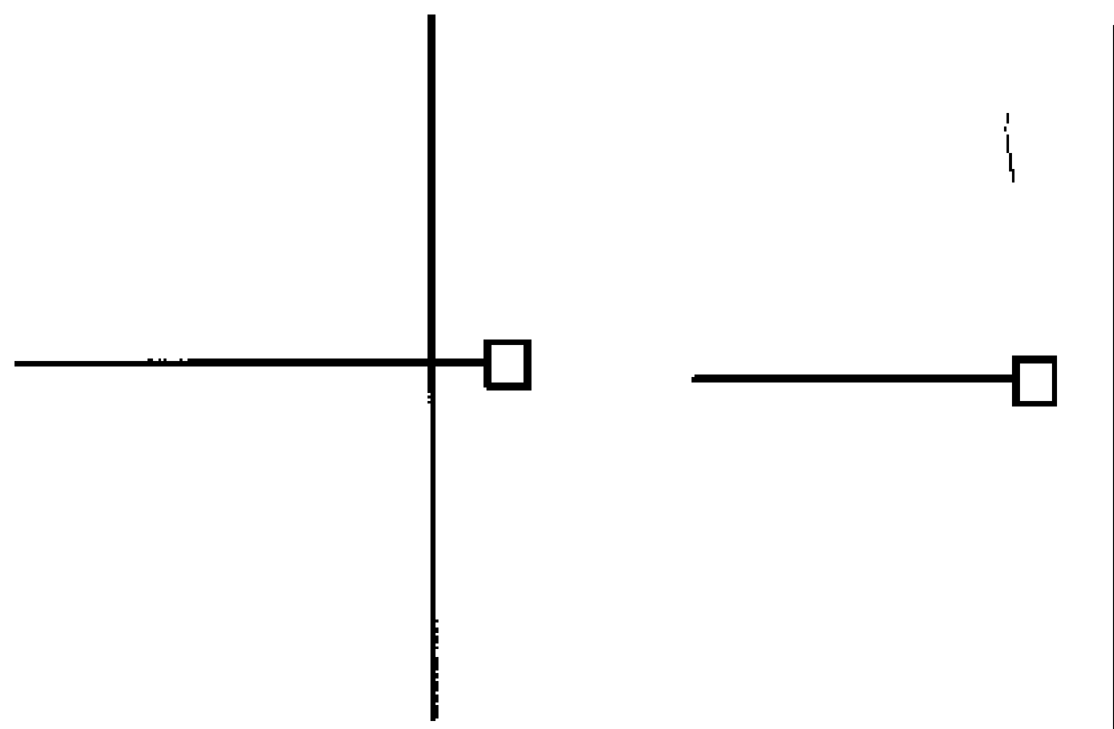


图 5.3 过伸(左)和未及(右)数字化错误。

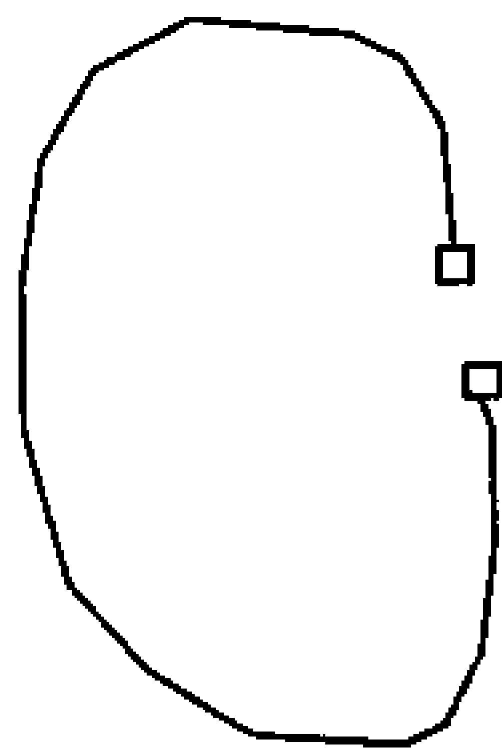


图 5.4 未闭合多边形的数字化错误。

悬挂节点在某些特殊情况下是可接受的。在使用基于拓扑的 GIS 软件包进行手扶跟踪数字化时要求弧段的起止点是节点。因此，在河流图上的小支流和街道图上的死胡同都有悬挂节点系在弧段上，这些都是可接受的悬挂节点。

另一类节点错误被称为**伪节点**(pseudo node)。伪节点出现在一条连续弧段上，把该弧段不必要地分为数段(图 5.5)。但某些伪节点是可接受甚至是必须的。例如，为了表明具有不同属性(如限速)的不同路段，可把伪节点置于属性值发生变化的地方。另一个例子是用于未与其他多边形相连的独立多边形，必须选择任意起始点(和结束点)来数字化多边形，这个点则成为伪节点。

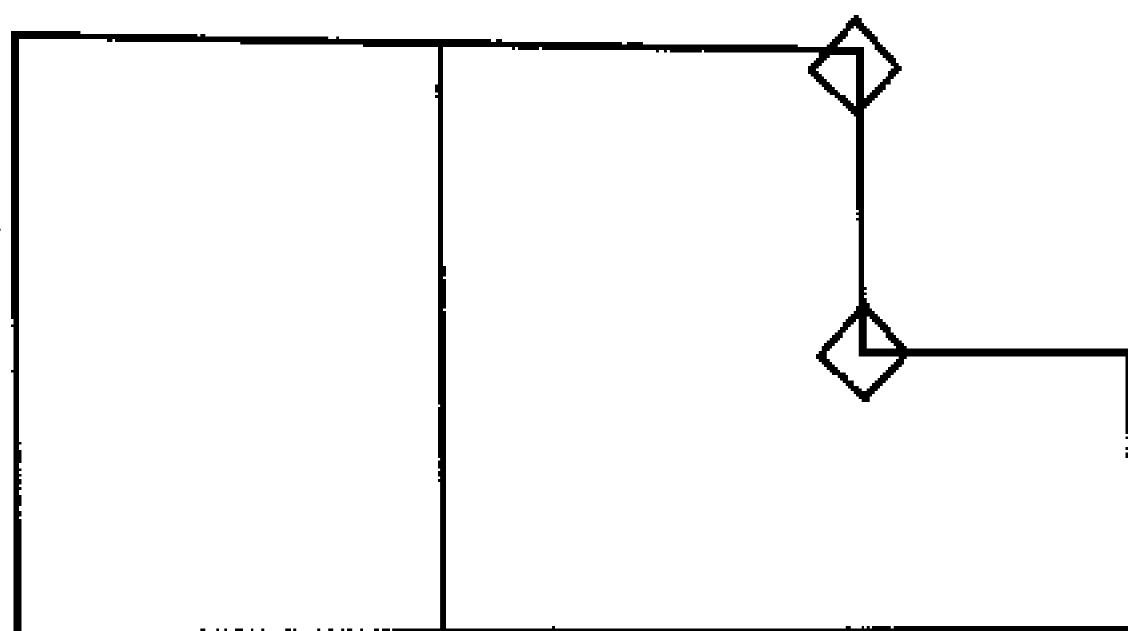


图 5.5 以菱形符号显示的点为伪节点，是不在线条交叉处的点。

弧段方向也可能是一种拓扑错误的来源。例如，在水文学应用中，所有的河流必须指向下游方向。换言之，河流的起点(也称起始节点)的海拔高度必须高于终点(也称到节点)。另一个例子是街道图层，对于双行道来说弧段或街道的方向不成问题，但对单行道而言，其方向就显得重要了(图 5.6)。

地理关系数据模型通常使用标识点将多边形与属性数据链接。因此一个多边形应该

有一个，且只能有一个标识点。未闭合的多边形经常引起多标识点错误(图 5.7)。当多边形之间存在缝隙，这两个多边形在拓扑意义上被视为单一多边形，而因每个多边形都具有一个标识点，就构成多重标识点的情况。只有当该缝隙被填充，多重标识点错误才会消失。

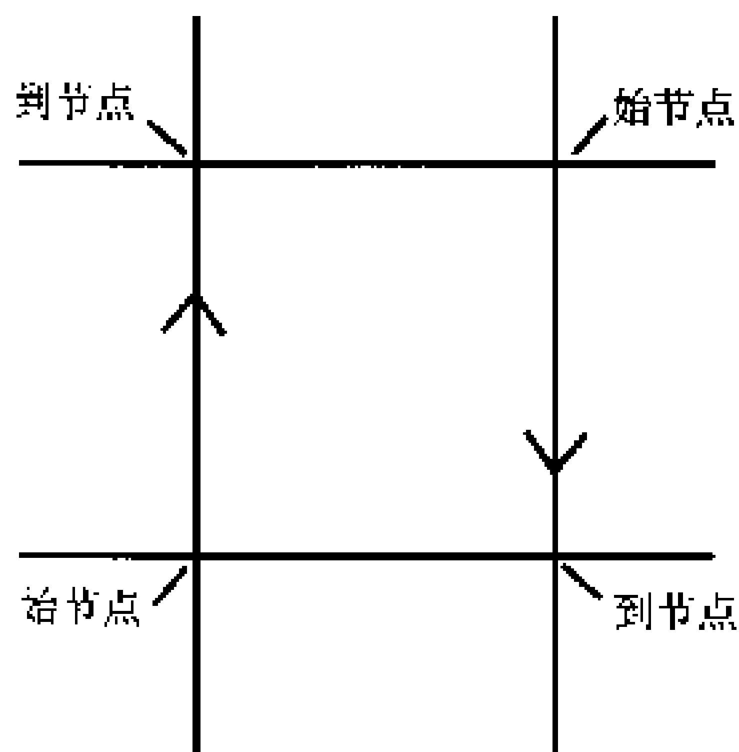


图 5.6　弧段的始节点和到节点决定弧段的方向。

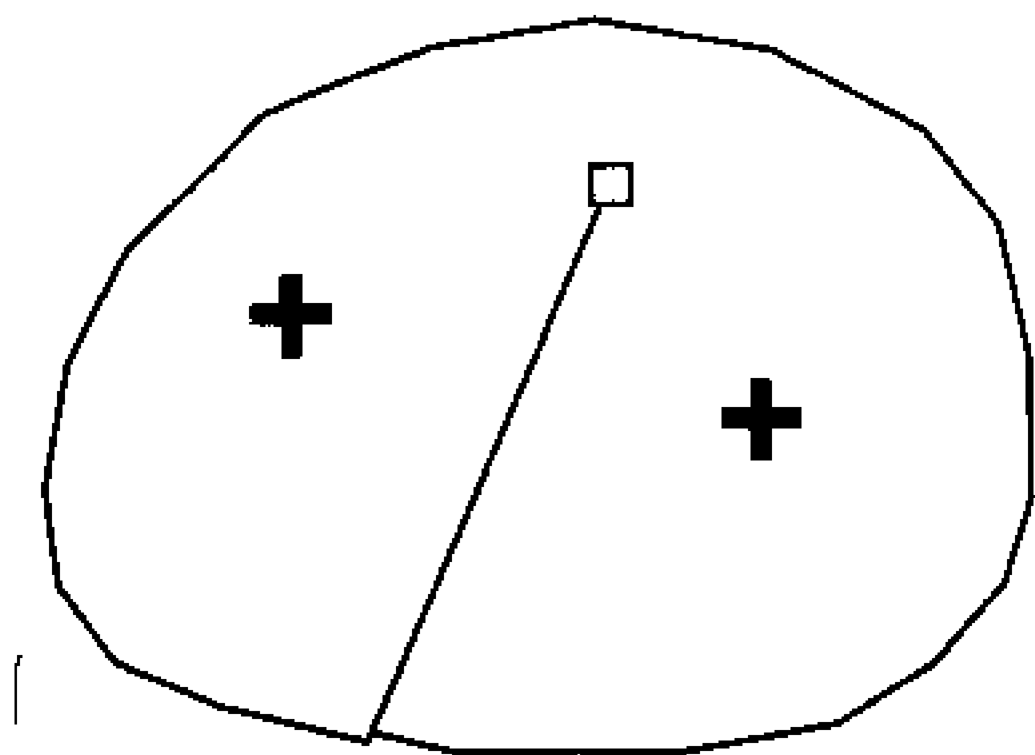


图 5.7　因未闭合多边形而至的多重标识数字化错误。

5.3　拓扑与非拓扑编辑

空间数据编辑的本质随 GIS 用户而异：取决于他们使用的拓扑的或非拓扑的 GIS 数据，是 GIS 数据的制作者或使用者，以及使用何种 GIS 软件包。基于拓扑的 GIS 软件包能发现和显示拓扑错误，并具有轻松消除拓扑错误的功能。基于拓扑的 GIS 软件包包括 ARC/INFO、AutoCAD Map、MGE、ILWIS 和 SPANS 等(注释栏 5.1)。它们在确认线条是否正确接合、多边形是否闭合、多边形有无适当标识点等方面具有相似性能。一些 GIS 软件产品虽然不是基于拓扑的，但它们也有完成拓扑编辑的能力，例如，IDRISI 有一个单独软件产品，可用于确定矢量格式地图要素之间的空间关系。

用于拓扑[illegible]软件包

ARC/INFO、AutoCAD Map、MGE 和 SPANS 都具有完成拓扑编辑的功能，它们在编辑操作上都很类似。本章仅参考 ARC/INFO 的命令，以下着重罗列另 3 种软件包的编辑功能：

- AutoCAD Map：建立拓扑关系、修复未及、捕捉集群节点、消除双线、简化线状对象，以及订正其他错误。
- MGE(Base Mapper)：建立拓扑关系、消除多余的线状数据片段、整理未及与过伸，在线条穿越处创建交叉点。
- SPANS：识别和修复节点、过伸和悬挂；为线和面数据建立拓扑关系；用边缘匹配功能连接邻近的线数据。

非拓扑的 GIS 软件包不能发现拓扑错误和建立拓扑关系，虽然它可用于地图要素的数字化和编辑。非拓扑的 GIS 软件包的例子有 ArcView 和 MapInfo。ArcInfo 8 中 ArcMap 是设计用于数据显示和编辑，其当前版本不具有显示拓扑错误的功能。

5.4 拓扑编辑

假设一幅地图刚刚完成数字化，我们接着阐述用基于拓扑的GIS软件包编辑该地图的过程，并适当参考ARC/INFO的命令。

5.4.1 概述

地图编辑过程始于地图拓扑关系的构建。这一步确保计算机能够辨认地图上单独的节点、弧段和多边形。同时，在地图要素之间建立拓扑关系的过程能够消除某些数字化错误。

第二步是指出地图上存在的数字化错误的类型。一个基于拓扑的GIS软件包能够很容易地发现拓扑错误，并用专门符号表示这些错误。诸如缺失线条或多边形等的定位错误需要通过校核图与源地图的比较，进行手工核查。

第三步是消除数字化错误。可以单个或一组地消除数字化错误。通常需要特定操作来消除特定类型的数字化错误。当数字化错误被消除之后，必须重建地图的拓扑关系以适应编辑所造成的变化。很少人能在一次编辑过程中消除所有的数字化错误。通常更多的是必须重复编辑过程直至没有数字化错误。

5.4.2 订正数字化错误

1. 全局方法

基于拓扑的GIS软件包通常有这样的功能，即把一些指定容差值应用于整幅地图以消除数字化错误，这被称为全局方法。ARC/INFO中的CLEAN命令即为一例，CLEAN命令对输入的图层使用两个容限值：**悬挂长度**（dangle length）和**模糊容差**（fuzzy tolerance）。悬挂长度设定输出图层中悬挂弧段的最小长度。如果一条悬挂弧段短于设定的悬挂长度，那么它将被删除。因此，悬挂长度在删除小过伸错误时很有用（图5.8）。模糊容差设定输出图层中两个弧段极点之间的最小距离。模糊容差应用于沿一条弧段上的节

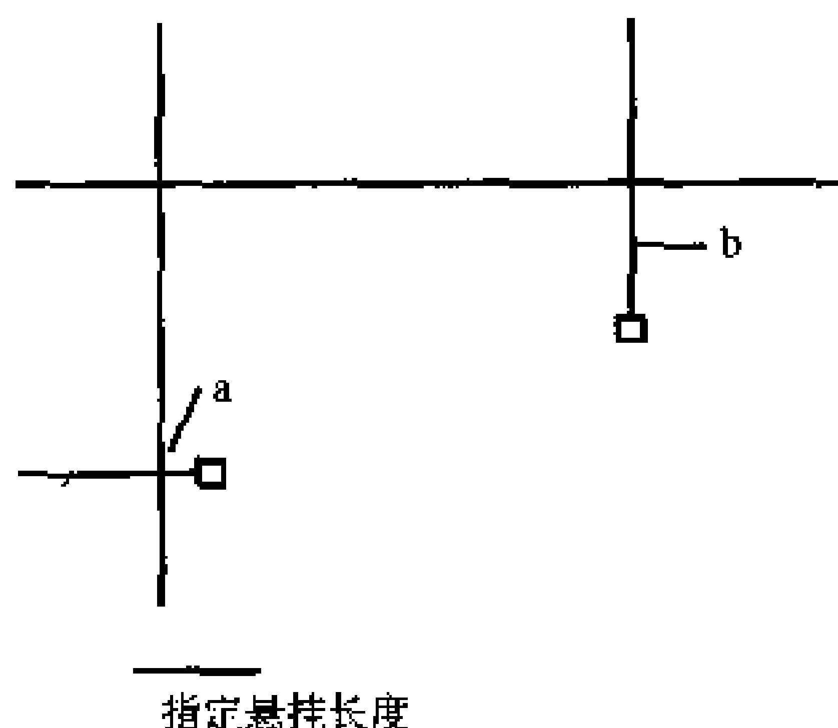


图5.8 由CLEAN命令设定悬挂长度，若出头长度小于设定长度时过伸可被消除。在本图中，过伸(a)被消除，而过伸(b)被保留。

点以及沿两条相邻弧段上极点。后一种情况在消除双线时很有用，若双线是在设定的模糊容差之内(图 5.9)。

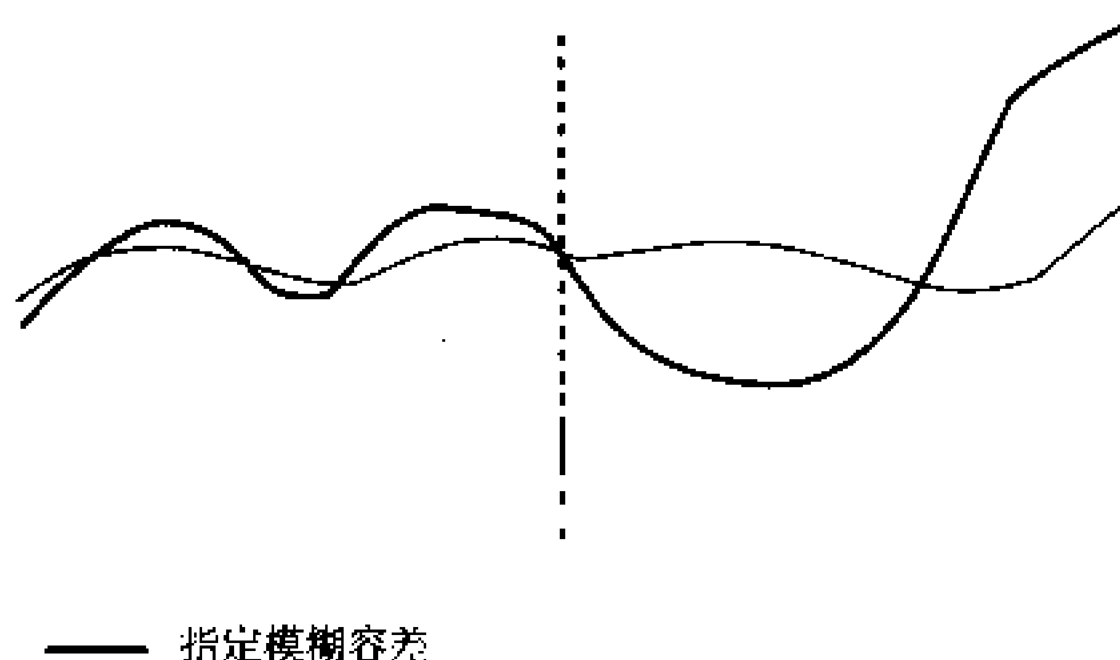


图 5.9　由 CLEAN 命令设置模糊容差值，若双线之间的缝隙小于所设置的模糊容差值，就能将双线捕捉。在本图中，虚线左侧的双线可被捕捉而右侧的不被捕捉。

除了使用悬挂长度和模糊容差之外，CLEAN 还能在线的交叉点自动插入一个节点，如果这个交叉点在数字化中尚未作为节点。这样，CLEAN 加强了拓扑中的弧段-节点关系。在手扶跟踪数字化遵循未结构化数字化(spaghetti digitizing)和忽视弧段-节点关系的情况下，CLEAN 的这个功能显得尤为重要。

由于全局方法应用于整个图层，因此使用时必须小心(注释栏 5.2)。如果悬挂长度值设置太大，它将删除未及弧段和悬挂弧段(图 5.10)。未及弧段应当被延长以填补缝隙而不应被删除。如果模糊容差值太大，也可能捕捉并非双线的弧，因而扭曲数字化图层上的地图要素(图 5.11)。

注释栏 5.2　CLEAN 中的默认参数值

除非特别设定，否则 ARC/INFO 提供有悬挂长度和模糊容差的默认参数值。悬挂长度的默认值是 0，模糊容差的默认值依图层的测量是以数字化单位(英寸)或现实世界坐标(米或英尺)而定。以数字化单位时它是 0.002in，以现实世界坐标时是地图范围的宽或高的 1/10 000，取其较大值。因此，默认的模糊容差值随图层面积递增。例如，如果图层的较大一维的度量为 20 000m 时，其默认容差值为 2m，如果度量为 200 000m 时，其模糊容差为 20m。默认值的如此变化引出了组织上问题，即不得不把小的图层拼在一起。模糊容差大容易扭曲地图要素。解决办法是在一个项目中使用由 CLEAN 命令输入的模糊容差恒定值。

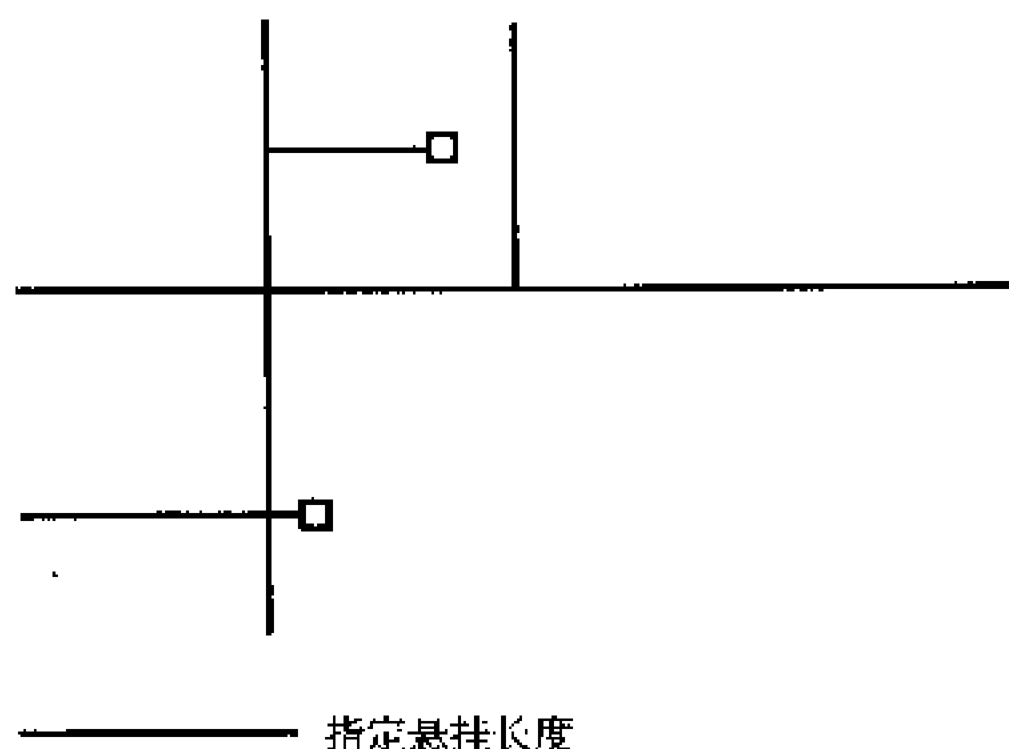


图 5.10　如果悬挂长度设定太长，它可能把应删除的过伸和不应删除的未及都消除掉。在本图中，在上部的悬挂弧段为一个未及，用设定的悬挂长度会将其删除。

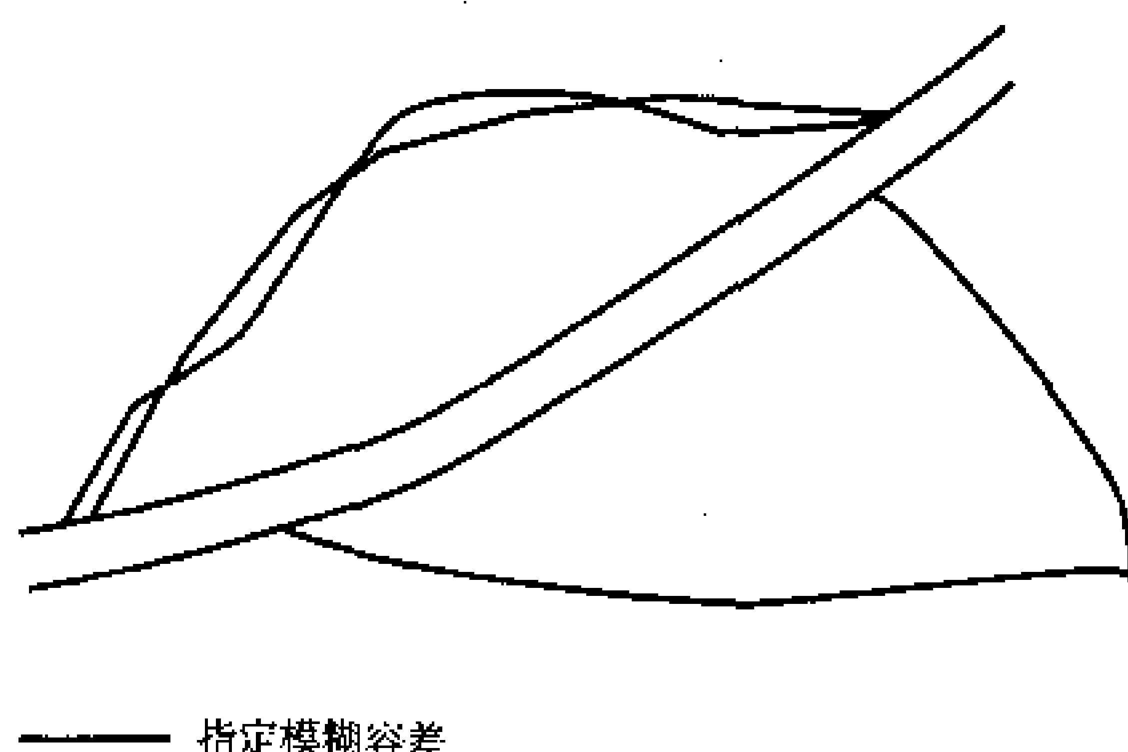


图 5.11 如果模糊容差值设置太大，它可能将双线以及小水渠等地图要素一并删除，如图中所示。

2. *局部模式*

局部方法用来处理数字化地图中选定的数字化错误。为了便于局部编辑，GIS 用户可以使用容差值。ARC/INFO 用于捕捉节点的容差值称为**节点捕捉**(nodesnap)，就像用于数字化一样用于编辑。节点捕捉的容差值也不应设置太大，否则将捕捉错误节点。而且，当一个点在容差值范围内被捕捉到新的位置，该节点把与其相连弧段也移至新位置，因此弧段位置的准确性亦随着节点捕捉而改变，这是节点捕捉容差值必须小心设置的另一原因。

在 ARC/INFO 中对要编辑的所选要素指定搜索半径的容差值称为**编辑距离**(editdistance)(图 5.12)。如果编辑距离太小，计算机将不能选取像弧段一样的要素。如果太大，计算机在该搜索半径范围之内选取的要素可能并非所要编辑的要素。

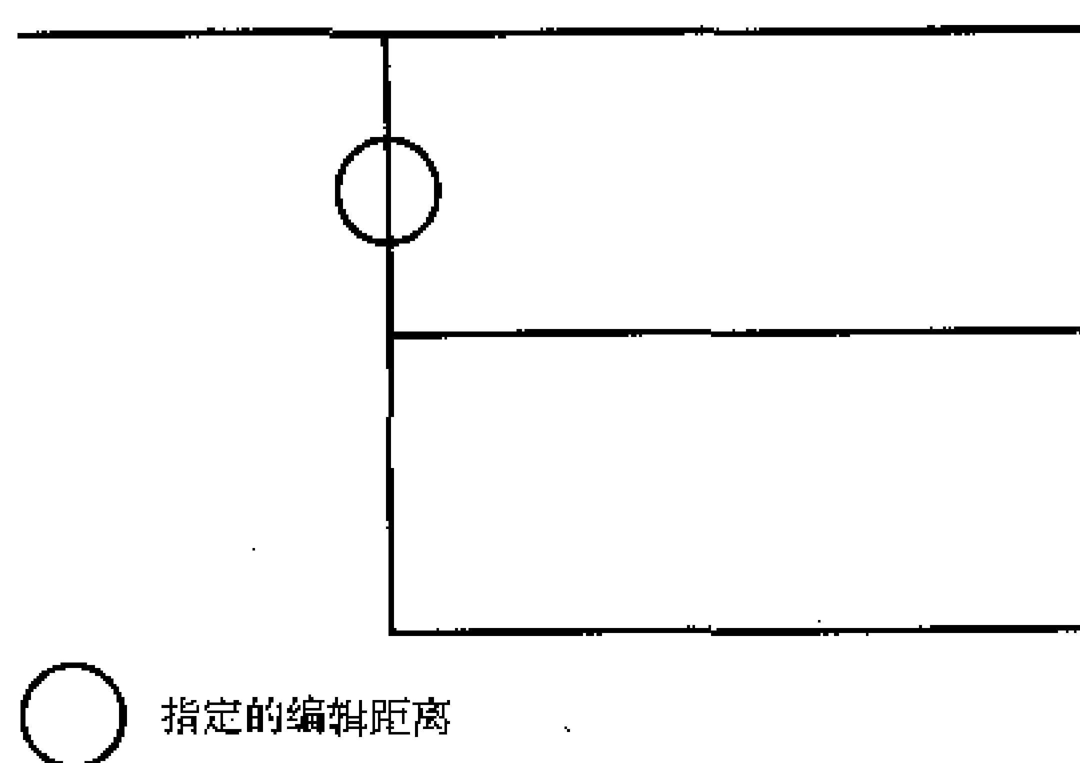


图 5.12 编辑距离应设置得足够大以便于计算机选择需要编辑的弧段。
但是，如果设置得太大，计算机可能选择错误的弧段。

无论是节点捕捉还是编辑距离都能可设定为一个指定的值或交互的值。由于节点捕捉影响了空间数据的几何特征，在编辑过程中可以使用一个阈值。如果设定为交互式的，在编辑过程中随着 GIS 用户时常放大和缩小地图时，节点捕捉和编辑距离必须频繁地调整。放大能够提供更清晰的要素画面用以编辑，而缩小可让 GIS 用户移动到图层的其他部位进行编辑。每次放大或缩小都改变了地图比例尺以及节点捕捉和编辑距离的适用性。

大部分的 GIS 软件包允许用户解除不注意时完成的编辑操作。有时 GIS 用户可能误删除了一些弧段，然后又认识到已被删除的弧段是需要的，ARC/INFO 的 UNDO 命令，正如 OOPS 一样，能够解除最后一次编辑操作。重复使用 UNDO 命令可消除在一次编辑过程中所作的全部编辑操作。

下列是用局部方法消除数字化错误的小结（注释栏 5.3）：

（1）未及：通过数字化或利用诸如 ARC/INFO 中的 EXTEND（图 5.13）命令等功能，延长该弧段直至与目标弧段在新节点接合。ARC/INFO 中的 SPLIT 命令可在指定位置上对弧段插入一个新节点。

[illegible]	**未能分类的错误**

所有有经验的 GIS 用户都会遇到一些不容易分类的数字化错误，这些错误往往是更严重的错误，核对源地图大概是避免此类错误的最佳办法。

（2）过伸：过伸可在选定范围内被消除，在图层被“cleaned”（建立拓扑关系）之后，过伸将成为一条孤立弧段而被删除（图 5.14）。

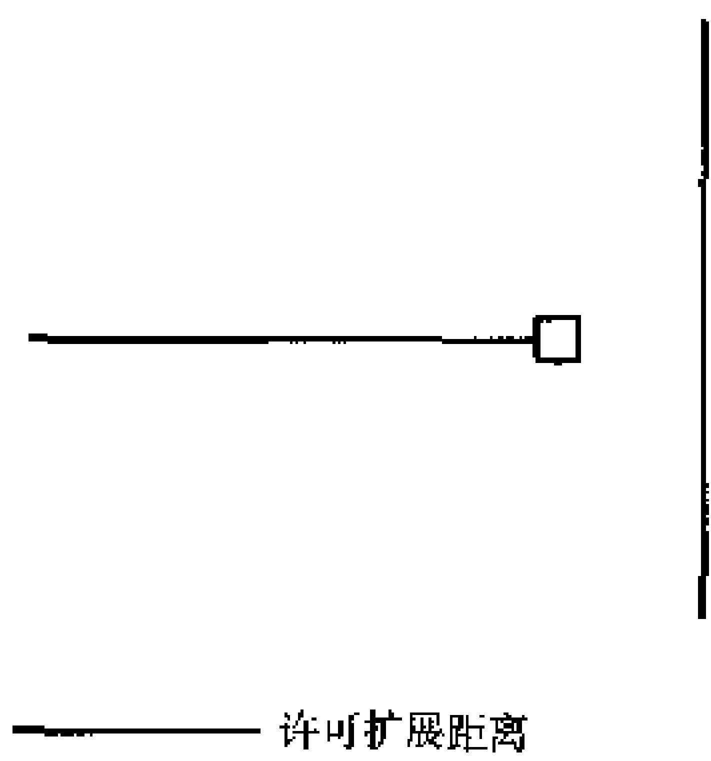


图 5.13　EXTEND 命令用指定的许可距离来延伸一条悬挂弧段使之与现有弧段接合。

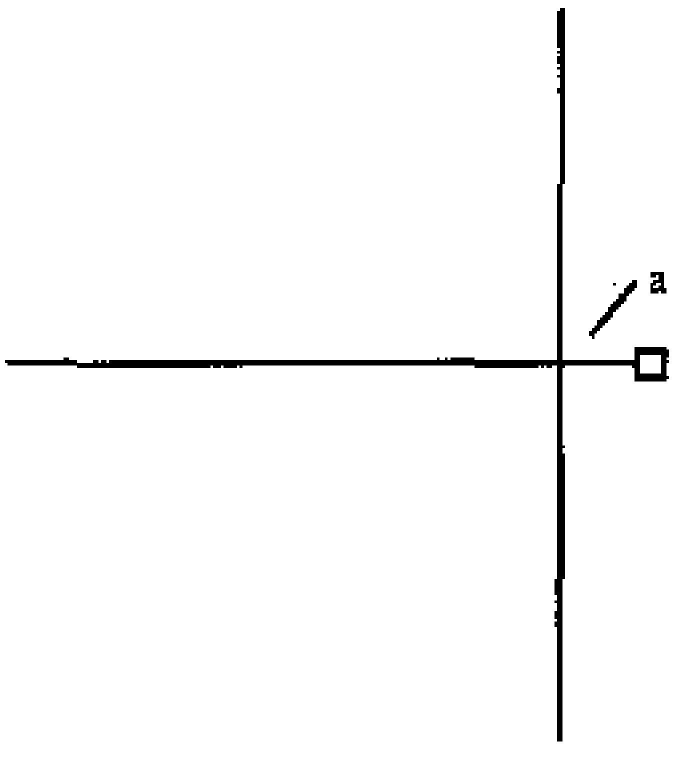


图 5.14　为消除一个过伸，只需简单地选择超长线段并删除它。

（3）双重弧段：一种解决办法是小心地选择出多余的弧段并删除它，另一种办法是在方框范围内先把所有双重弧段删除，而后重新数字化。

（4）弧段方向错误：弧段方向可通过诸如 ARC/INFO 中的 FLIP 命令改变起止节点的相对位置来改变。

（5）伪节点：通过先设定伪节点两头的两弧段相同 ID 值，再用 ARC/INFO 的 UNSPLIT 命令即可消除伪节点（图 5.15）。有时，假节点能够揭示缺失的弧段：缺失弧段的终止点已作为节点键入，但未相连。

（6）标识错误：在一个多边形图层中缺失标识点，必须用正确 ID 值加上新标识点。如果一个多边形有多个标识点，多余的标识点必须选出并删除。如前所述，多重标识意味着存在未闭合的多边形，这一问题可通过将多边形闭合来解决。

（7）弧段整形：通过将构成弧段的点（vertices）的移动、添加或删除来使弧段整形。

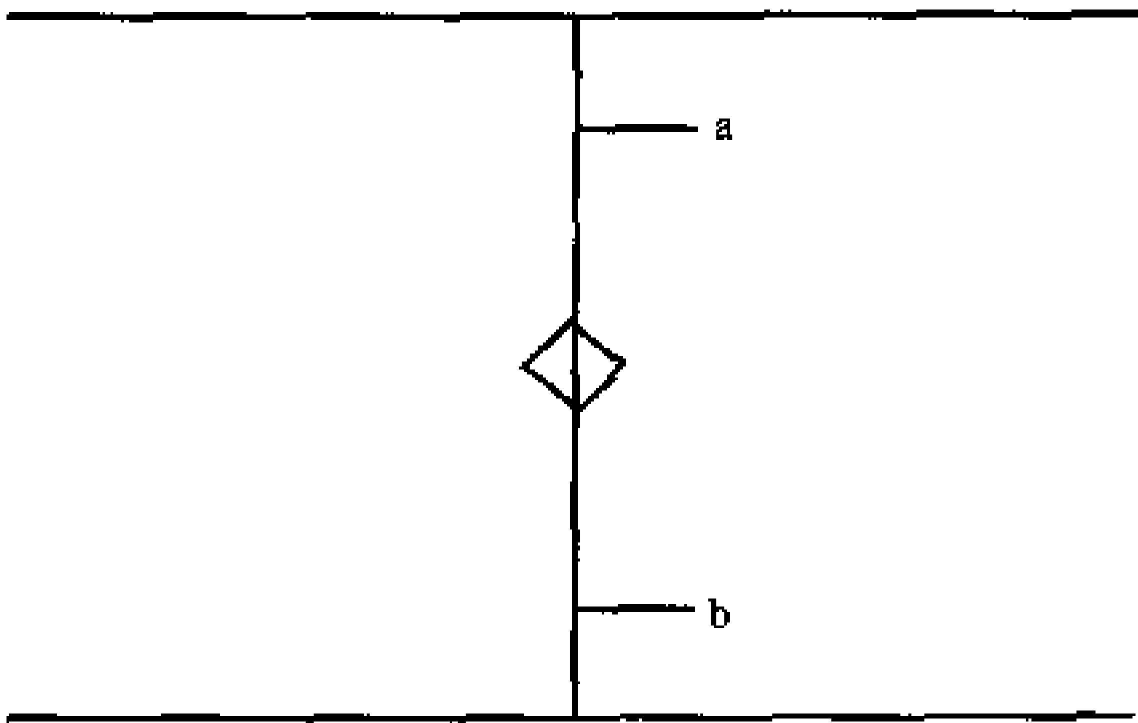


图 5.15 为消除伪节点，首先选定 a 和 b，即伪节点两侧的弧段。确认这两个弧段有相同的 ID 值，然后使用 UNSPLIT 命令除去伪节点。

ARC/INFO 的 VERTEX 命令可通过添加、删除和移动构成弧段的点，实现对弧段整形。

5.5 边缘匹配

迄今为止的讨论主要集中于对单幅地图的数字化错误作订正，然而，许多 GIS 项目使用多幅地图。例如，一个国家林地的森林火灾图层由数幅地图组成，每幅代表一个单元区域或一幅 1：24 000 的 USGS 标准图幅，每幅地图被分别数字化和编辑。在所有地图都完成后，它们必须拼接成最终的图层（注释栏 5.4）。在拼接地图之前，**边缘匹配**（edgematching）是一项必须的操作，因为来自两幅地图的线条沿着地图边缘很少能完全接合（图 5.16）。

ArcView 中的合并

ArcView 的 Geoprocessing 扩展模块提供了合并操作，该操作用于创建一个包含两个或更多个专题的新专题。合并的专题经常被用于多专题数据查询或显示。然而，Merge 与 ARC/INFO 中的 Edgematch（边缘匹配）不同，合并的专题只是简单地放在一起，跨越专题的线条也没有被匹配或连接。当放大时，专题之间的边界则会出现缝隙和不匹配的线条。而且，如果标准图幅的边界构成每一专题边框，这些边界仍保留在合并的专题中。

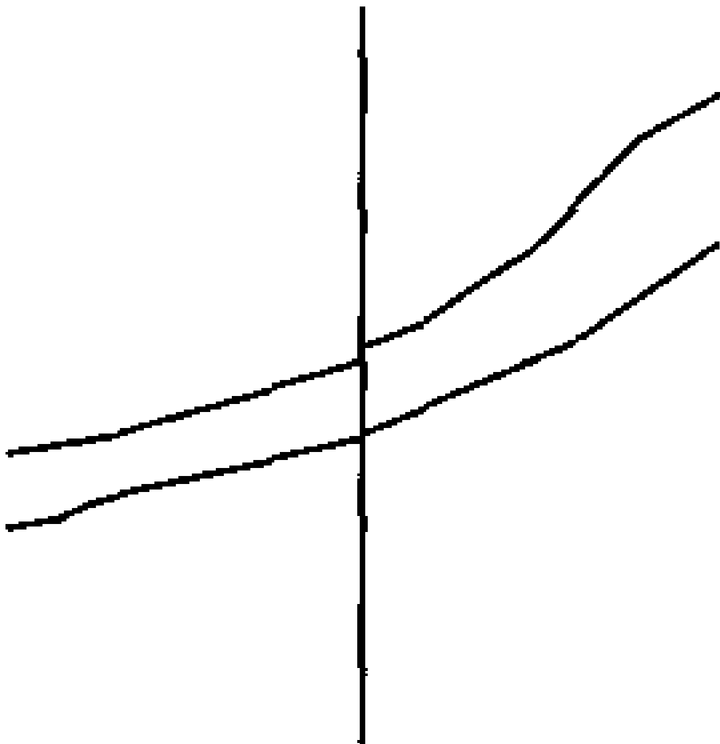


图 5.16 本图显示来自两幅相邻的标准图幅上的线不能完全接合。放大以后方可看清不匹配的线。

ARC/INFO 使用菜单引导 GIS 用户完成边缘匹配过程。在边缘匹配中，一个图层被称为捕捉图层，而另一个称为编辑图层。在编辑图层上的弧段被调整到与捕捉图层的弧段相匹配。在调整编辑图层上的弧段之前，必须用一个捕捉距离作为容差值，捕捉来自两幅图层的弧段的终点。编辑图层可以整个图层地调整，也可一次调整图层中的一部分。

当跨越地图边界的线条被匹配、编辑图层被调整过之后，捕捉图层和编辑图层可连接形成一幅图层。区分两幅图层的图幅边界保留在连接的图层中，但它可用 DISSOLVE 命令消除掉，这是用相同标识 ID 消除邻接多边形边界的一种操作。

5.6 非拓扑编辑

非拓扑编辑是针对定位错误，主要用于空间数据的更新或修正。GIS 用户可利用数字正射影像作为背景来、联合多边形或分离多边形来更新地图。这里主要讨论在 ArcView 中的编辑操作。

5.6.1 删除、移动、剪切和粘贴

删除(delete)、移动(move)、剪切(cut)和粘贴(paste)等功能作用于一个或多个选中的要素(点、线或多边形)。shapefile 中的每个多边形是一个单元，与其他多边形相互独立。因此，移动一个多边形就意味着将该多边形置于现有多边形的上层，而在该多边形原来位置产生一个空白区域，这种操作机理与基于拓扑的编辑极为不同(图 5.17)。

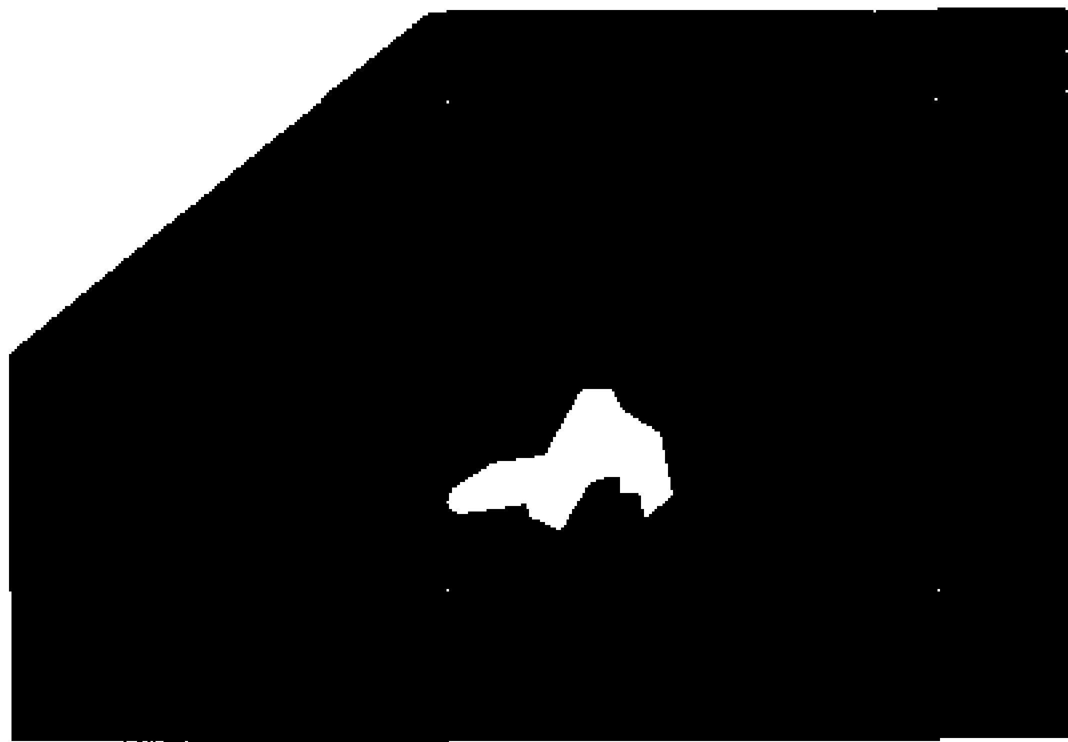


图 5.17 在 ArcView 中一个多边形被移动之后，在它原来的位置上将会出现一个岛。习惯使用基于拓扑操作的 GIS 用户，可能会对 ArcView 的这一操作感到陌生。

5.6.2 整形

在一条线上移动、删除或添加节点(在 ArcView 中的点称为 vertices)能够改变线的形状。ArcView 有个 vertex edit(节点编辑)工具，它能使 GIS 用户选择一个节点并把它拖曳到新的位置(图 5.18)或把它删除(图 5.19)。这个节点编辑工具也能通过在线条上所需要的位置作简单的点击来增加节点(图 5.20)。

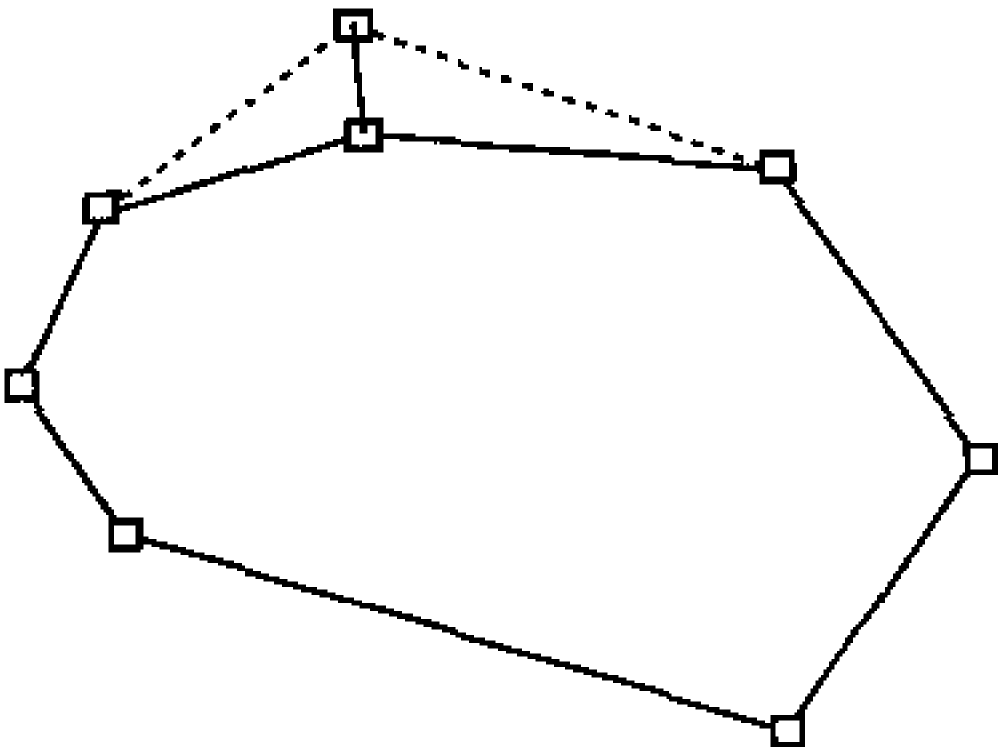


图 5.18　在 ArcView 中通过移动一个选定节点对线条整形。

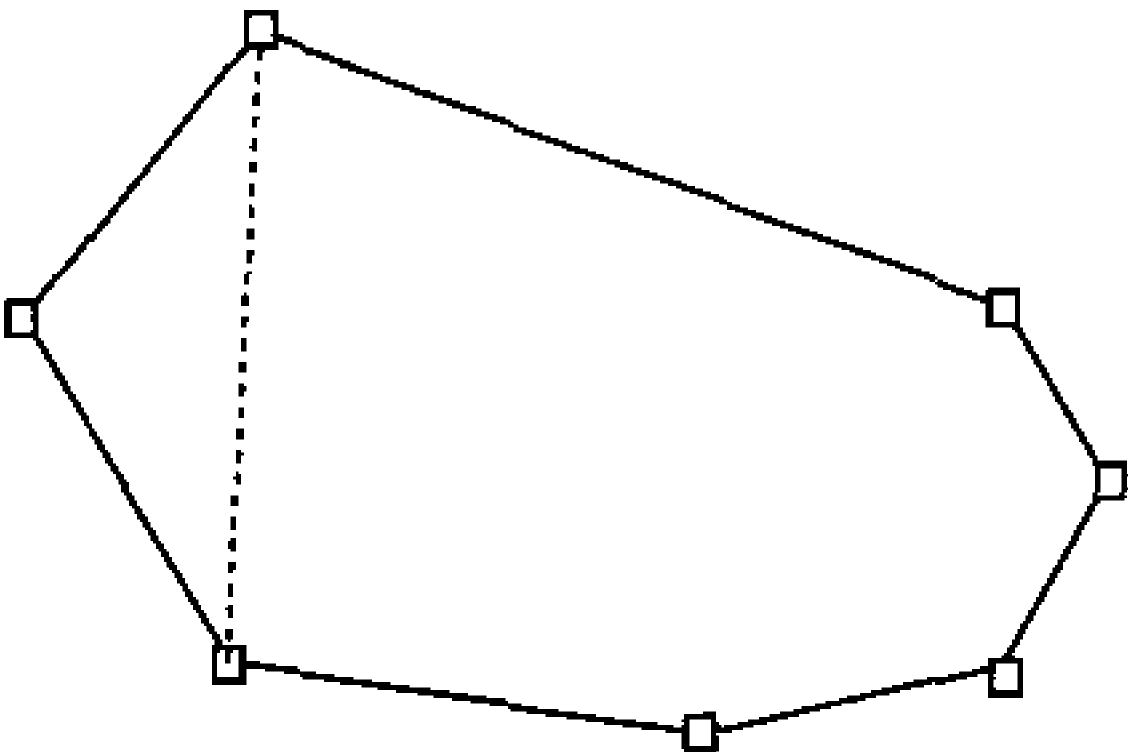


图 5.19　在 ArcView 中通过删除一个选定节点对线条整形。

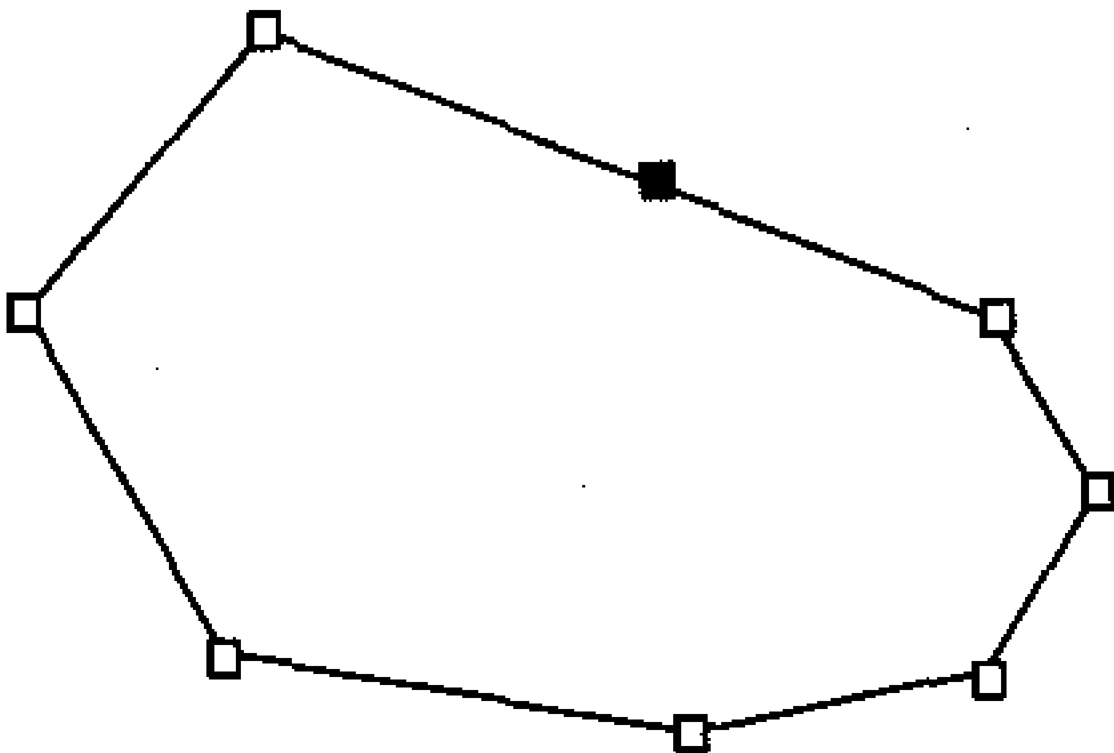


图 5.20　在 ArcView 中对线添加节点。

节点编辑工具还能用来对多边形整形。当这个工具用于一个选中的多边形时，它能改变多边形的形状而不影响与之相邻的单元。当这个工具用于两个多边形的公共边界公共节点时，它将同时改变这些相邻多边形的形状。

5.6.3　分割和合并

一条穿越已有线段的新线，可能将原线及新线分割成独立的几个线段。另一方面，线的合并能够将选中的线段组合成一条线。多边形也能被分割或合并。分割多边形意味着通过画一条或多条穿越多边形的分割线而将多边形分割成两个或更多个多边形(图 5.21)，但在 ArcView 中，分割线必须延伸超越多边形的边界(例如，过伸)才被认为是分割。合并是将选中的多边形进行组合，如果多边形相互邻接，其结果是形成一个多边形(图 5.22)。如果选中的多边形邻接，结果形成由一个由多个部分组成的多边形。

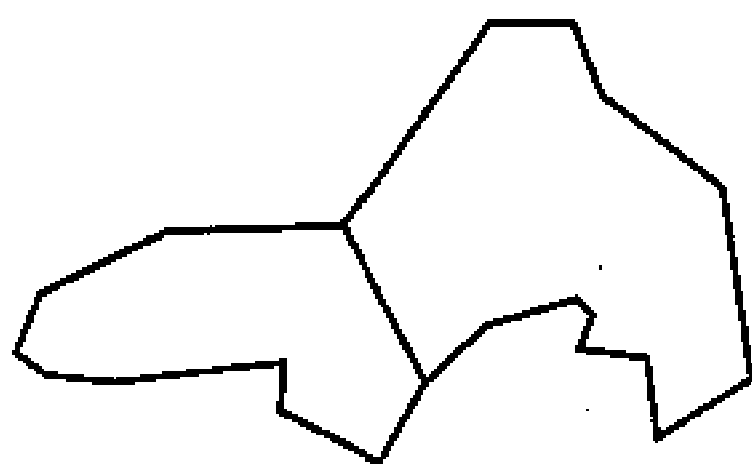


图 5.21　在 ArcView 中通过画 -条穿越多边形边界的分割线，可将一个多边形分割成两个。

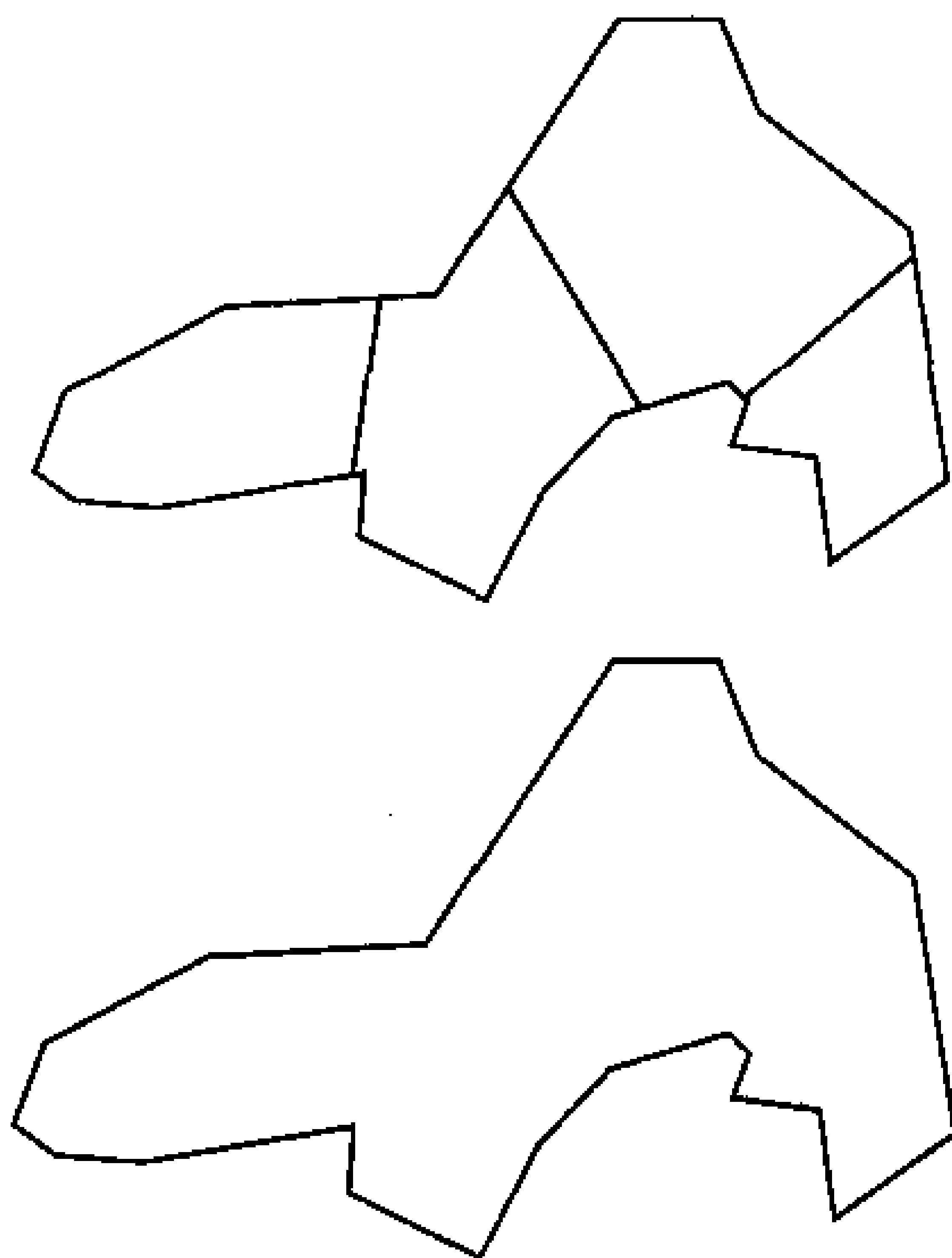


图 5.22　在 ArcView 中可把两个或多个选中的多边形组合成一个多边形。

5.6.4 多边形要素的处理

在 shapefile 中，由于多边形是独立的且可以叠置，ArcView 允许 GIS 用户创建新的代表相互交叉的多边形，允许用户创建圆环式多边形(即在多边形里面有一个岛)，并消除多边形之间的重叠区域。这些操作对基于拓扑的多边形图层是不可能实现的。

5.7 其他类型地图要素的处理

5.7.1 线条的简化、加密和平滑

线条简化是指通过消除线条上的某些点把线条简化或概化的过程。线条简化在地图显示中很常见(Robinson 等 1995)，且是数字地图制图和 GIS 一体化的通常主题(McMaster 等 1992，Weibel 等 1999)。当一幅比例尺为 1∶100 000 的源地图完成数字化后作为 1∶1 000 000 比例尺地图使用，这时，由于地图空间的缩小，使线条变得拥挤和难以辨认，必须通过消除线条的某些点来使线条简化。

Douglas-Peucker 算法或许是线简化的最知名的算法，用于 ARC/INFO 和其他 GIS 软件包(Douglas 等 1973)。该算法是一条线一条线进行运算，并使用指定的容差值。对于一条指定的线，过程开始于一条连接该线终点的趋势线(图 5.23)，然后计算趋势线上中间点的离差。在图 5.23A 中，与每条曲线最大离差的点是与原线的终点相连接形成新的趋势线，接着计算新的趋势线上点的离差。这个过程持续到离差不超过容差值为止，结果为一条连接趋势线的简化线(常带有明显的角)。在图 5.23B 中，由于点的离差均小于

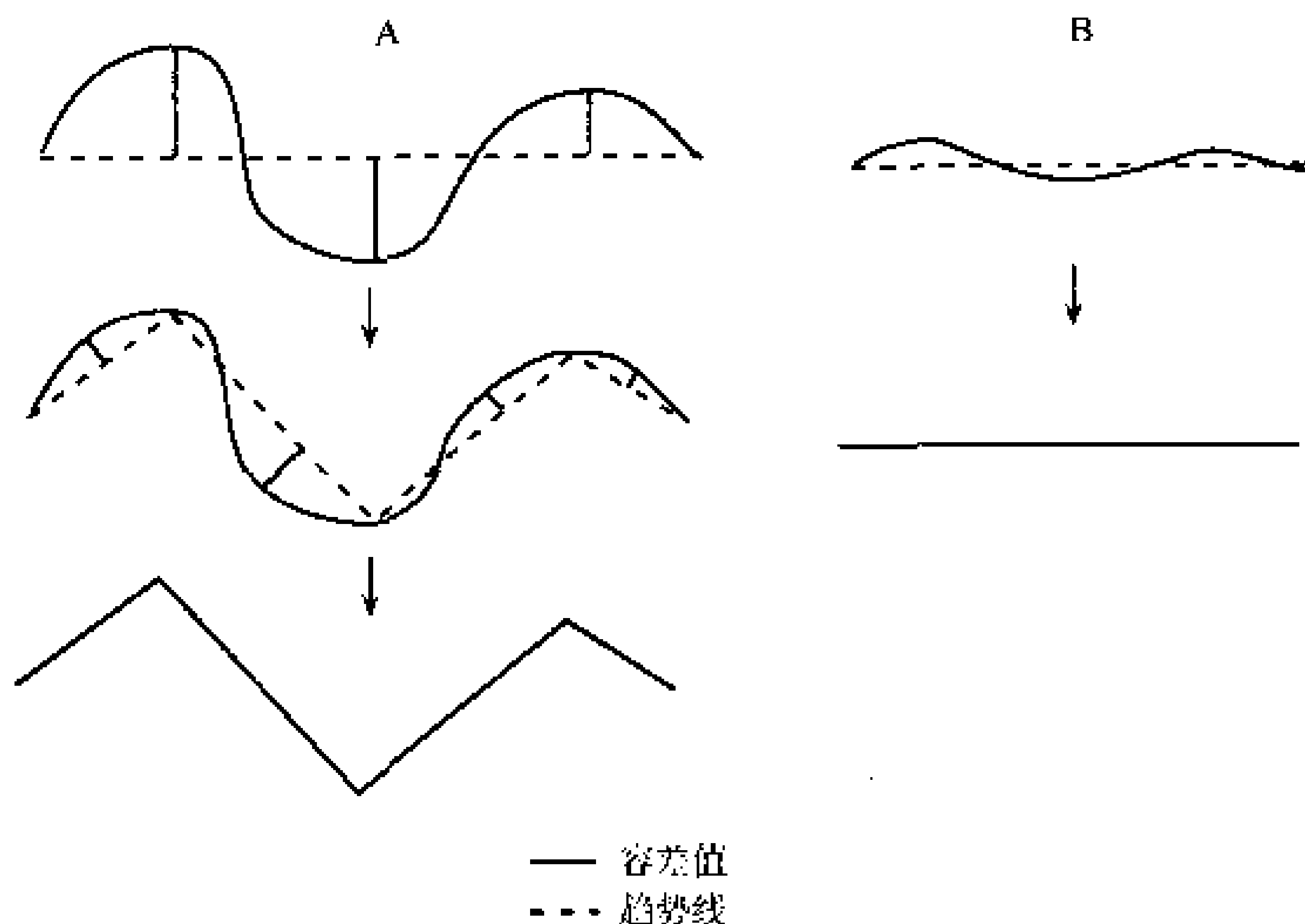


图 5.23 线条简化的 Douglas-Peucker 算法是一个迭代过程，它要求使用一个容差值、趋势线，并计算节点到趋势线的离差。详见正文中的解释。

容差值，简化线为一条连接终点的直线。图 5.24 显示使用 ARC/INFO 的 GENERALIZE 命令的简化线结果。

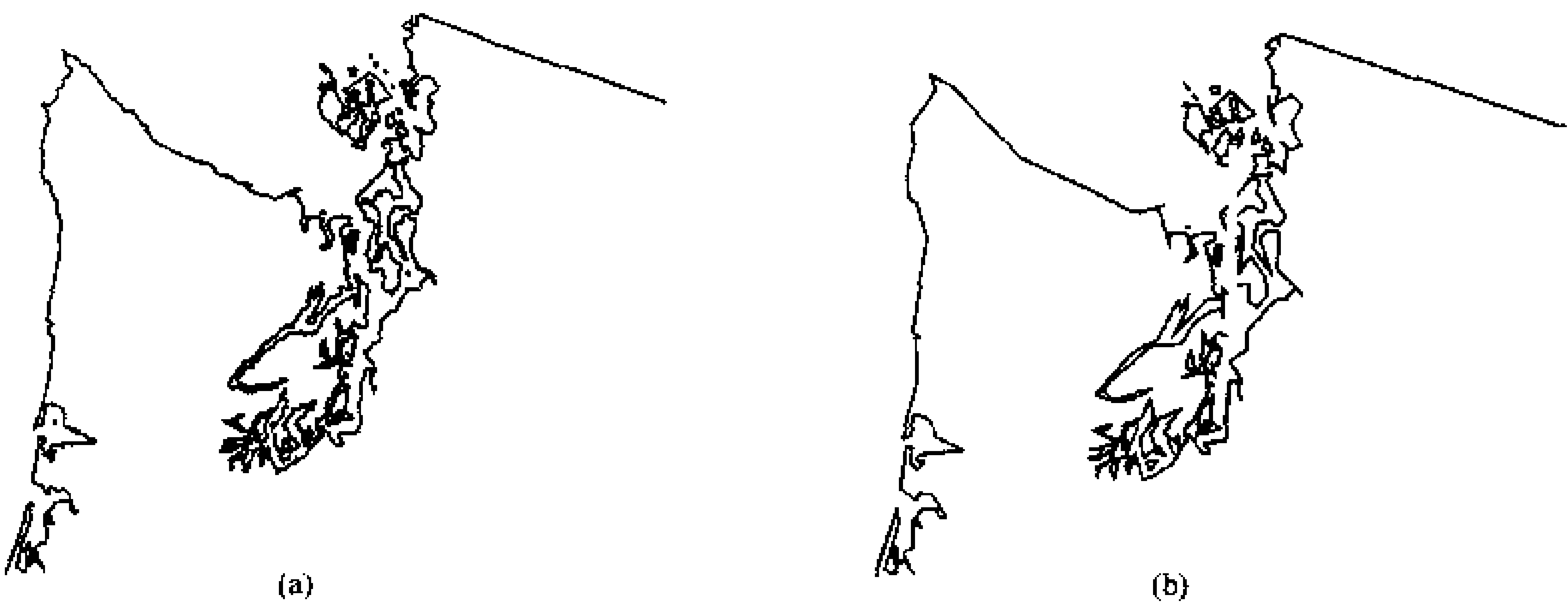


图 5.24　两幅华盛顿皮吉特海峡(Puget Sound)地区的视图，由 ARC/INFO 的 GENERALIZE 命令以 2km 清除容差值创建的图(b)是图(a)的概化版本。

线的加密是在选定的线上添加新的点，或是在地图上以指定间隔添加新的线的过程。其操作相对简单。开始于线的起点，在每个指定间隔添加一个新点(图 5.25)。现有的点被保留，且线的形状不变。

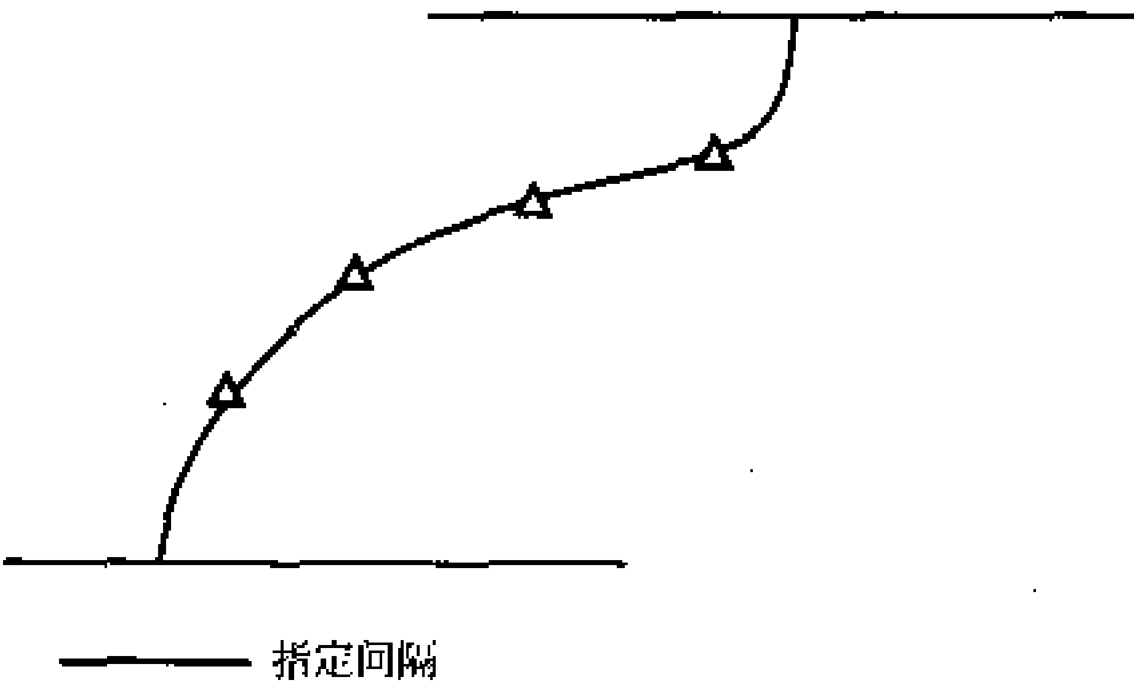


图 5.25　线的加密是以指定间隔在一条弧段上添加新的节点。

线的平滑也是对线添加新点，但是新点的位置由数学函数产生。图 5.26 显示使用 ARC/INFO 的 SPLINE 命令的平滑结果。用于样条平滑的最常用方法由三次多项式组成，其一般形式为(Davis　1986)

$$y = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 x^2 + \beta_4 x^3 \tag{5.1}$$

一个三次多项式能够准确地通过 4 个点。对于超过 4 个点的弧段，必须用多个多项式分段连续表示，并消除段与段之间曲率的急剧变化。

5.7.2　地图要素从一幅地图到另一幅地图的传递

如果一幅地图上的线或多边形为另一幅地图所需，则地图要素的传递功能是很有用的。ARC/INFO 有 GET 和 PUT 两个命令用于传递地图要素。GET 能将指定类型(即点、

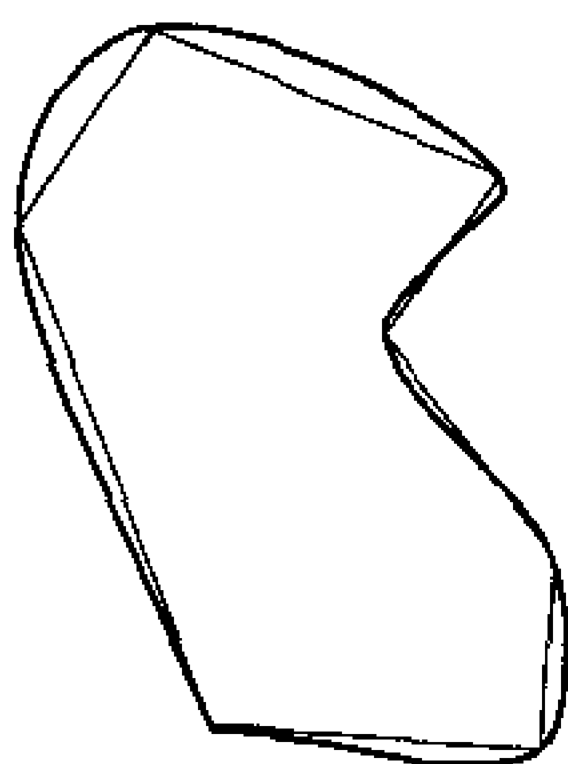


图 5.26 ARC/INFO 的 SPLINE 命令可通过添加由数学运算生成的新节点而使多边形边界光滑。图中粗线为平滑后的边界线。

线或多边形)的所有要素从一个图层复制到另一个图层。PUT 则能将指定的要素从一个图层复制到另一个图层。

当不同的地图图层共享公共边界时,GET 和 PUT 命令显得尤其有用。例如,土壤图与土地利用图享有某些公共边界。在土地利用图数字化之后,那些与土壤图共享的边界就可传递给土壤图。这样传递不仅节省了数字化的时间,而且也为数据分析提供了地图空间匹配的保证。

重要概念和术语

编辑距离:用于 ARC/INFO 的一种容差值,它指定了选择要素的搜索半径,用于编辑。

边缘匹配:连接邻接图层的一种操作。

定位错误:与地图要素定位有关的错误,诸如缺失线条或缺失多边形。

Douglas-peucker 算法:用于线条简化的一种计算机算法。

非拓扑编辑:用 ArcView 等非拓扑的 GIS 软件包进行空间数据的编辑。

过伸(overshoot):一种数字化错误类型,它导致弧段过长。

校核图:用于查错的数字化地图的打印图。

节点捕捉:用于 ARC/INFO 的捕捉节点的容差值。

空间数据编辑:在数字地图上消除错误或更新数据的过程。

模糊容差:用于 ARC/INFO 的一种容限值,它指定了输出图层中两个弧段节点的最小距离。

拓扑错误:与地图要素拓扑关系有关的错误,例如悬挂弧段和缺失标识或多重标识。

未及(undershoot):一种数字化错误的类型,导致弧段之间存在缝隙而未接合。

伪节点:出现在连续弧段上的节点。

线的加密:在一条线上添加新节点的过程。

线的简化:通过消除线的某些节点而使线条简化或概化的过程。

线的平滑：通过对线添加新节点而使之平滑的过程，这些新节点通常由诸如样条平滑等数学函数产生。

悬挂长度：用于ARC/INFO的容差值，它指定了输出图层的悬挂弧段的最小长度。

悬挂节点：不与其他弧段相连的一条弧段的终点。

悬挂弧段：一条在其左右两侧为相同多边形的弧段，且在弧段终点有悬挂节点。

应用：空间数据编辑

本章应用部分包括3个习作。习作1是在ARC/INFO中订正拓扑错误。习作2用ArcTools(ARC/INFO的菜单驱动的实用程序)来完成边缘匹配和地图拼接。习作3复习ArcView的编辑功能。

习作1　在ARC/INFO中订正拓扑错误

所需数据：editmap1(图5.27)，一个含有拓扑错误的图层。

名为editmap1的图层有几种类型的数字化错误：过伸弧段、未及弧段、未闭合多边形、缺失标识和多重标识。习作1将示明如何订正这些数字化错误。在做习作1时，你需要放大地图以便更好地查看要编辑的地图要素，还需要缩小地图以方便地从图层的一部分移到另一部分。你还需要设置节点捕捉、编辑距离及其他容差值，并且随着放大和缩小，重新设置容差值。

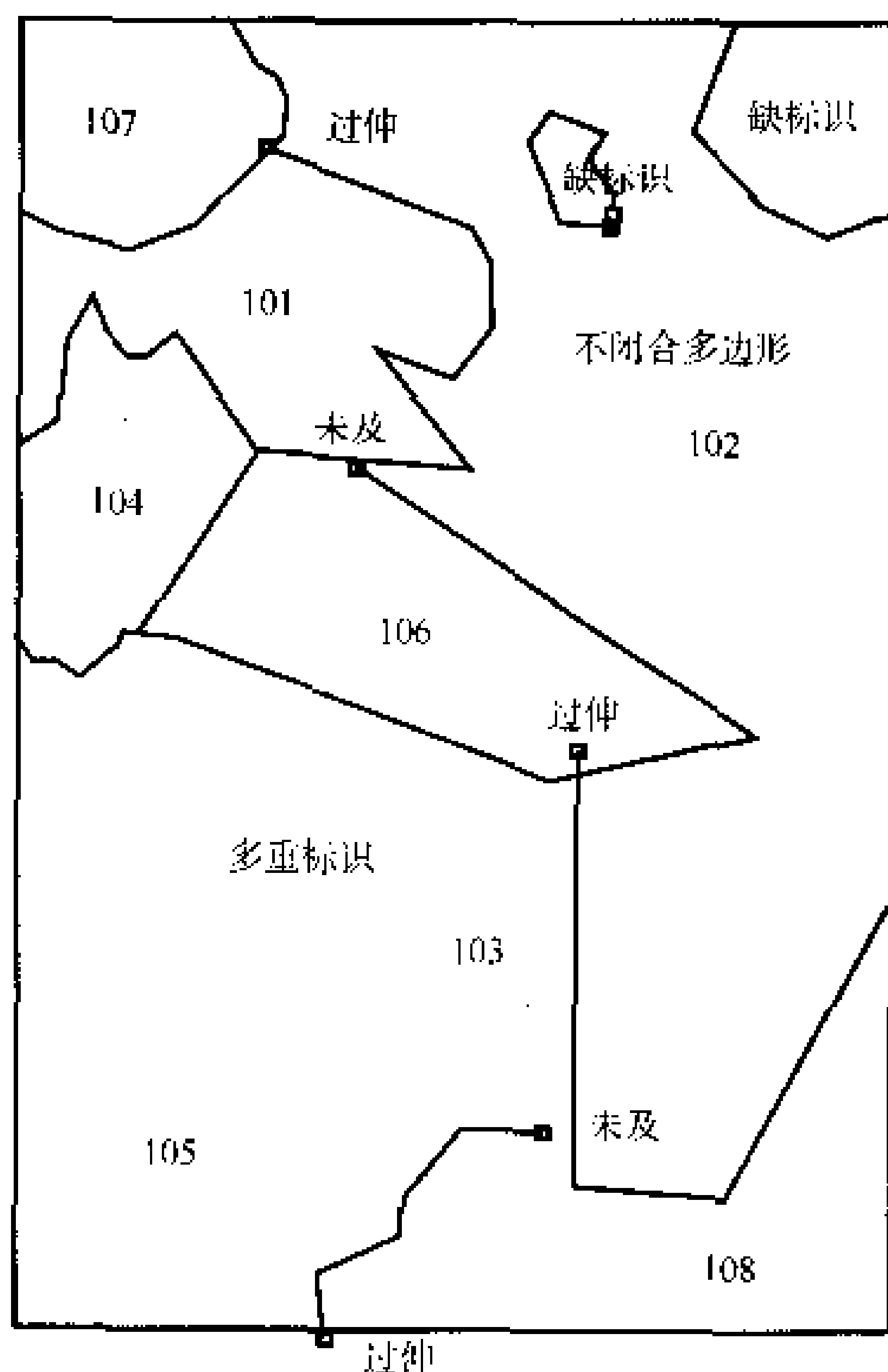


图5.27　editmap1含有拓扑错误。

1. 进入 ArcEdit，并设定 editmap1 的环境：

   [ARC]arcedit

   :display 9999

   :mapex editmap1

   :editcov editmap1

   :drawenv arc node errors label

   :nodecolor dangle 2/* 将悬挂节点显示为红色

   :nodecolor pseudo 3/* 将伪节点显示为绿色

   :draw

2. 删除一个悬挂弧段：

   :editfeature arc /* 指定编辑要素为弧段

   :select /* 将过伸放大并选中伸出的弧段

   :delete

3. 消除一个未及：

   :editfeature arc

   :select /* 将未及放大并选中该弧段

   :extend /* 指定一个距离以便于悬挂弧段能与其目标接合

4. 闭合一个未闭合的多边形：

   :editfeature node

   :nodesnap closest * /* 设定一个圆作为节点被捕捉的范围

   :move /* 选定一个要移动的节点，按下 4 移动，然后选择要移到的点

注：将多边形闭合的另一种方法是数字化一段弧来连接两个悬挂段弧的节点。

5. 增加一个标识点：

   :editfeature label

   :add /* 在缺失标识点的多边形内点击鼠标

注：如果标识点的值不是你所要的，你可以按 8，这将打开一个菜单，允许你修改用户 ID 或标识点的值。

6. 删除一个标识点：

   :editfeature label

   :select /* 选择一个要去除的标识

   :delete

注：另一种去除标识点的方法是把它移到缺失标识点的多边形中。要移动一个标识点，首先要选中这个点，然后键入"move"。

7. 在消除了 editmap1 的数字化错误之后，在退出 ArcEdit 之前，你需要保存这些变化。然后，你必须使用 CLEAN 或 BUILD 命令重建 editmap1 的拓扑关系。

习作 2 边缘匹配/地图拼接/融合

所需数据：qhoytmtn 和 qmrblemtn，两幅需要匹配和连接的土壤图层(图 5.28)。这两幅图层都是基于通用横轴墨卡托(UTM)坐标系统，并都以米为单位。

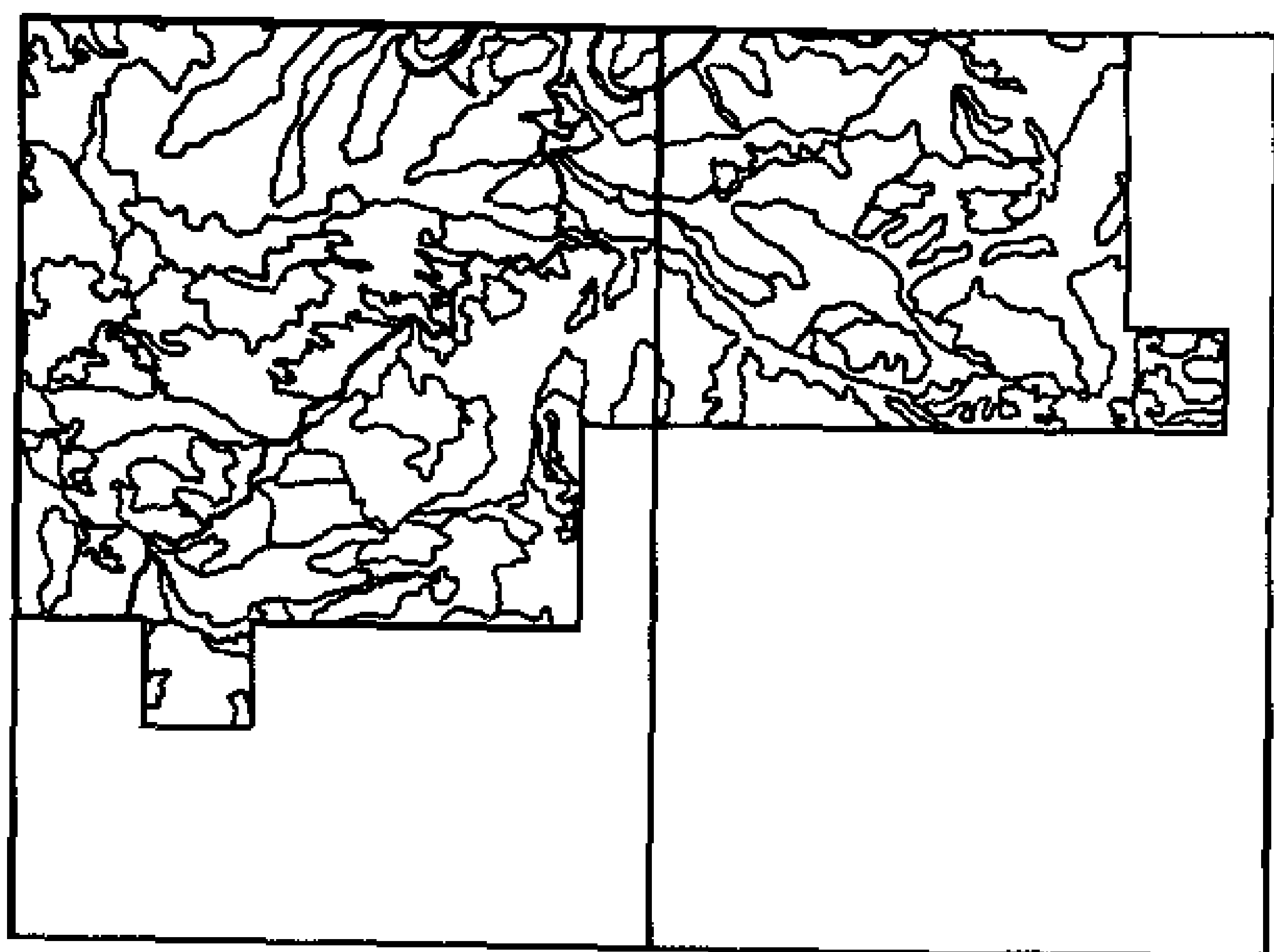


图 5.28　qhoytmtn(右)和 qmrblemtn(左)是两幅需作边缘匹配和图幅拼接的图层。

这两幅土壤图层分别据两幅独立的标准图幅进行数字化。如果项目的研究范围涉及两幅标准图幅，那么它们需要做边缘匹配和地图拼接。ArcEdit 中的 EDGEMATCH 是菜单驱动操作。Arc 中的 MAPJOIN 是对话命令，它能够拼接 50 个图层。

1. 进入 ArcEdit，并启动 EDGEMATCH 命令：

   Arc:arcedit

   Arcedit:display 9999

   Arcedit:edgematch

2. 在 Coverage 菜单中，指定 qhoytmtn 作为 Edit Coverage(编辑图层)，qmrblemtn 作为 Snap Coverage(捕捉图层)，Node(节点)作为捕捉图层的要素类型，点击 Apply(应用)。本操作将启动 Edgematching(边缘匹配)菜单，并在 ArcEdit 窗口显示 qhoytmtn(白色)和 qmrblemtn(红色)。

3. Edgematching(边缘匹配)菜单包含几个参数设定，其中 Snap Environment(捕捉环境)的设定也许是最重要的。点击 Snap Environment 按钮。Snapping Distance(捕捉距离)指定捕捉距离容差值，在容差值范围内来自 qhoytmtn 和 qmrblemtn 的要素被链接起来。默认的捕捉距离容差值是 14.02m，但这个值能通过交互方式改变或输入新的值。本习作可用 7m 作为捕捉距离。对于在搜索范围内要捕捉的点，你可选择最近的一个点。

4. 在 Edgematchinh 菜单中点击 Add Automatically(自动添加)按钮。使用 Zoom(缩放)/Pan(漫游)来检查每个连接，除了上部两条线需要做交互式连接之外，qhoytmtn 和 qmrblemtn 所有的要素都要得到正确的连接。在菜单中点击 Add Interactively(交互式添加)按钮，将需要连接的第一条线的范围放大，以便你能同时看到在每个标准图幅内该线的终节点。点击在 qhoytmtn 中的终节点，然后点击在 qmrblemtn 中相应的终节点，应出现一个连接这两个节点的箭头。对另一条线

作同样操作。按下 9 即退出。

5. 点击 Adjust(调整)按钮,箭头符号变为方形符号。同时,使用 Zoom/Pan 检查调整结果。如果一切都很好,点击 Save(保存)按钮。退出 ArcEdit,并保存编辑结果。
6. 边缘匹配已经改变了被编辑图层的拓扑关系。因此,你需要重建 qhoytmtn 的拓扑关系。

   Arc: build qhoytmtn poly
7. 现在两个图层已经完成边缘匹配。下一步是连接 qhoytmtn 和 qmrblemtn 图幅来创建名为 qandq 的新图层:

   Arc:mapjoin qandq poly all /* 键入 qhoytmtn 和 qmrblemtn,作为要连接的图层
8. 你可在 ArcPlot 或 ArcEdit 中显示 qandq。虽然这两幅标准图幅已被拼接,但标准图幅的边界仍然存在。要消除人为的标准图幅边界,你可使用 Arc 中的 DISSOLVE(边界消融)命令:

   Arc:dissolve qandq qandq2 #all /* 用所有属性项目对 qandq 作边界消融
9. 图 5.29 显示 qandq2。

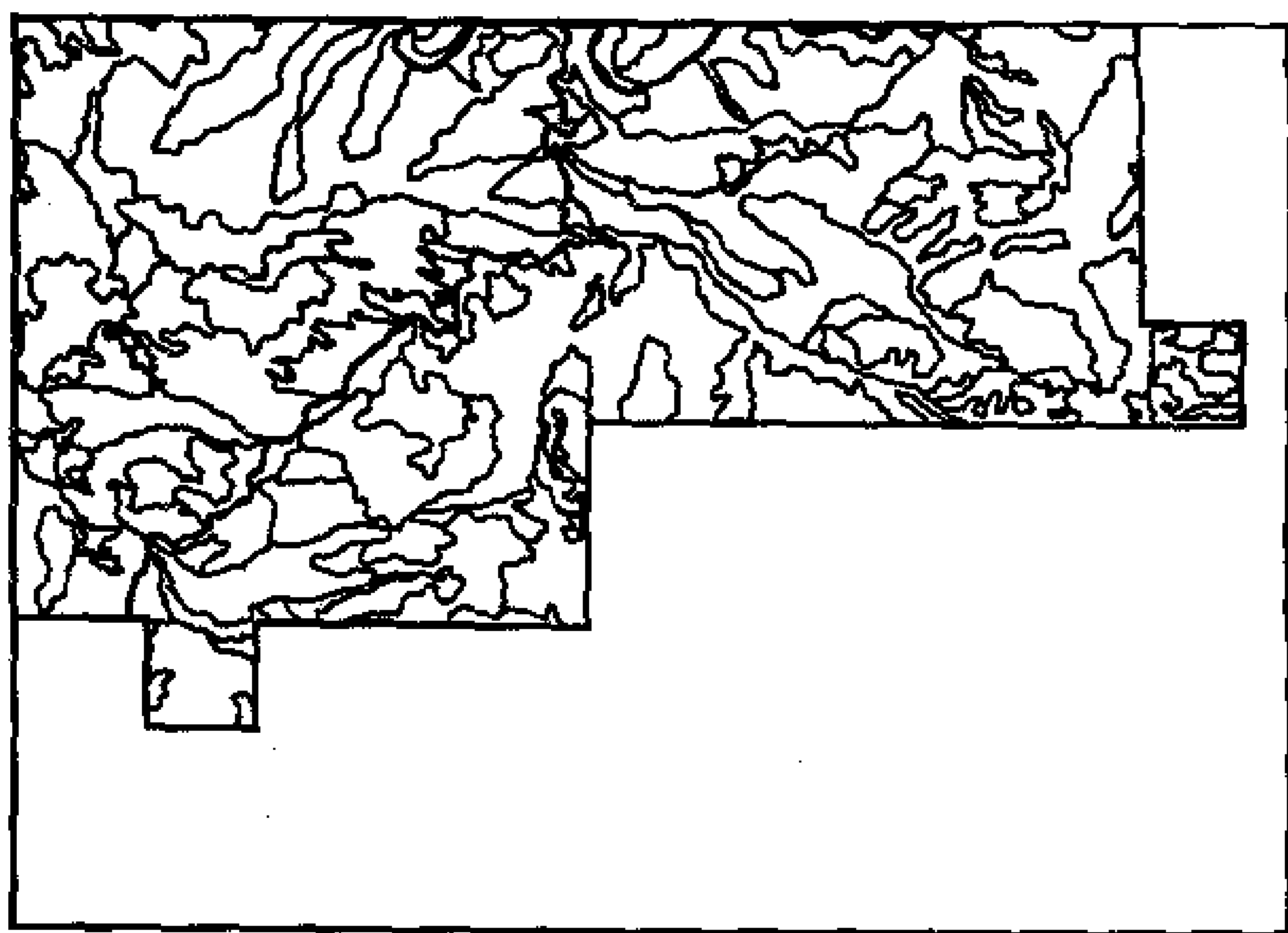


图 5.29 qandq2 是由 qhoytmtn 和 qmrblemtn 创建的无接缝图层。

习作 3 用 ArcView 编辑空间数据

所需数据:editmap2.shp(图 5.30),editmap3.shp(图 5.31)

习作 3 涉及 ArcView 的 3 个常用编辑功能:合并多边形、分割多边形和多边形边界整形。你将对 editmap2.shp 进行编辑,而 editmap3.shp 用来说明编辑以后的 editmap2.shp 有何变化。

1. 启动 ArcView,打开一幅新视图,并将 editmap2.shp 和 editmap3.shp 加入视图。ArcView 中的空间数据编辑只能应用于 shapefile 。
2. 激活 editmap2.shp,并从 Theme 下拉菜单中选择 Start Editing。环绕在

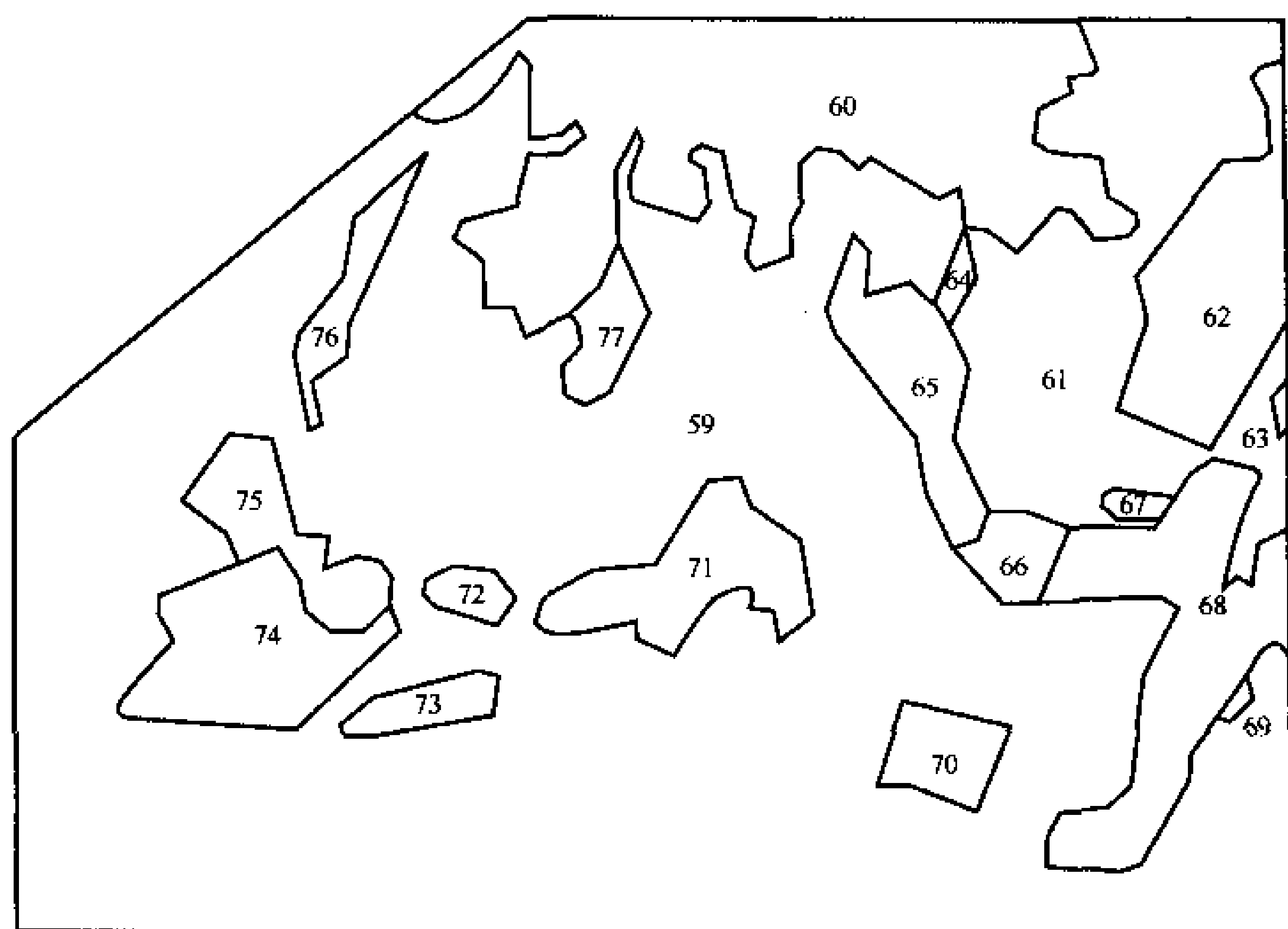


图 5.30　名为 editmap2.shp 的多边形 shapefile 将在 ArcView 中完成多边形融合、多边形分割和多边形边界整形等编辑。

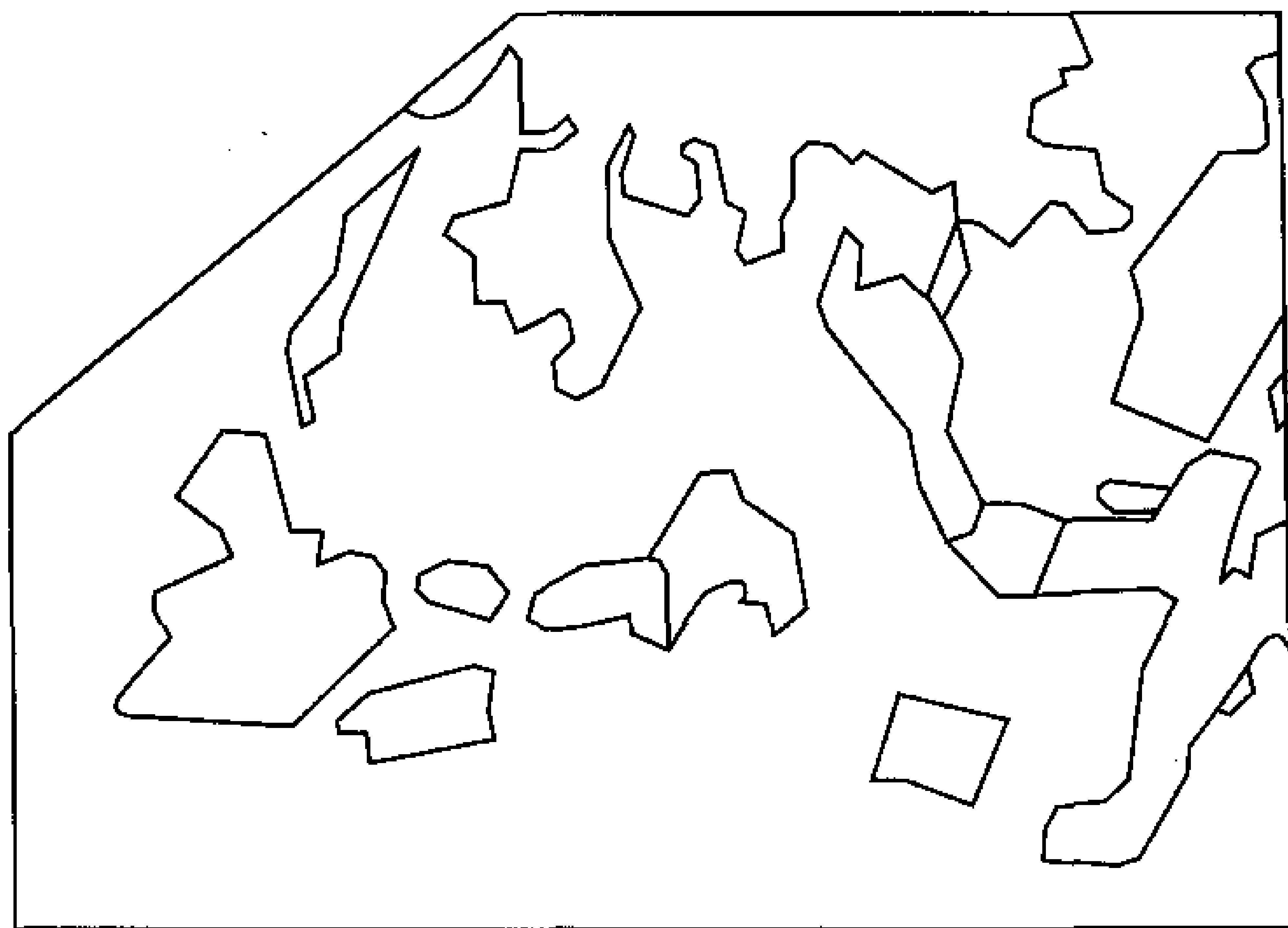


图 5.31　编辑后的 editmap2.shp。

editmap2.shp 选择框的虚线指示该专题处于编辑状态。习作3的第一部分是合并多边形74和多边形75。点击Pointer工具,点击多边形74,然后按下shift键的同时点击多边形75。现在环绕两个多边形出现操作手柄(由小方格组成的矩形框)。从Edit下拉菜单中选择Union Feature(联合要素)。

3. 习作3的第二部分是分割多边形71。点击Drawing(绘图)工具,选择Draw Line to Split Polygon(画线分割多边形)工具。要分割一个多边形,分割线必须穿越多边形边界,换言之,分割线的两端必须"过伸"。在你要开始绘制分割线之处点击鼠标左键,点击每个组成分割线的节点,在结束点双击鼠标。

4. 习作3的第三部分是通过扩充南面边界成长方形来对多边形73整形。对该多边形进行整形的策略是添加3个新的节点,并拖曳节点以形成新的形状。放大多边形73所在区域,点击Vertex Edit(节点编辑)工具,执行以下操作来添加新的节点:在多边形73内点击以查看用小方框表示的现有节点;将光标移到需要添加节点处;当看到十字丝符号时,左击鼠标。在多边形73南缘任一处创建一个新的节点(节点1)。为拖曳该节点,双击该节点使之变成正方形,该正方形与两个小圆圈(即锚节点)相连。现在,将节点1拖曳到所要的新边界处(以editmap3.shp为指南),并松开鼠标键。在多边形73内再点击一次(方形符号应再次出现在多边形周围)。然后,沿着节点1与多边形73原先东南角的连线上添加另一个节点(节点2),双击节点2并将其拖曳至新边界的东南角。以相同步骤形成新边界的西南角。

参考文献

Davis, J. C. 1986. *Statistics and Date Analysis in Geology*, 2d ed. New York: John Wiley & Sons.

Douglas, D.H., and T. K. Peucker. 1973. Algorithms for The Reduction of The Number of Points Required to Represent a Digitized Line Or Its Caricature. *The Canadian Cartographer* 10: 110—122.

McMaster, R. B., and K. S. Shea. 1992. *Generalization in Digital Cartography*. Washington, D.C.: Association of American Geographers.

Robinson, A.H., J.L. Morrison, P.C. Muehreke, A.J. Kimerling, and S.C. Guptill. 1995. *Elements of Cartography*, 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Weibel, R., and G. Dutton. 1999. Generalizing Spatial Data and Dealing With Multiple Representations. In P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. MaGuire, and D.W. Rhind (eds.). *Geographical Information Systems*, 2d ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 125—155.

第6章 属性数据的输入与管理

6.1 引 言

GIS既涉及空间数据，也涉及属性数据。空间数据与地图要素的几何特征有关，而属性数据描述地图要素的特征。属性数据存储在表格中，表格的每一行代表一个地图要素，每一列代表一个特征。行与列交叉处显示特定地图要素的特定特征值。

空间数据与属性数据在矢量地图要素中得到很好的区分。**地理关系数据模型**采用分开的数据系统存储空间数据和属性数据，即把空间数据与属性数据分别以单独的文件存储。这两种数据文件由要素ID码来相互关联从而达到同步化，使得两种数据都可进行查询、分析和显示。**面向对象数据模型**也是将空间数据与属性数据区分开来，但将两种数据存在同一数据库中，这样可节省处理费用。

前两章讨论了空间数据输入与编辑，本章介绍属性数据的输入与管理，这样就完成了关于矢量数据的讨论。由于GIS中的面向对象数据模型仍在发展之中，因而，本章涉及的大多材料是应用于地理关系数据模型的。然而，应该指出，地理关系数据模型和面向对象数据模型都是在关系数据库环境中运行。

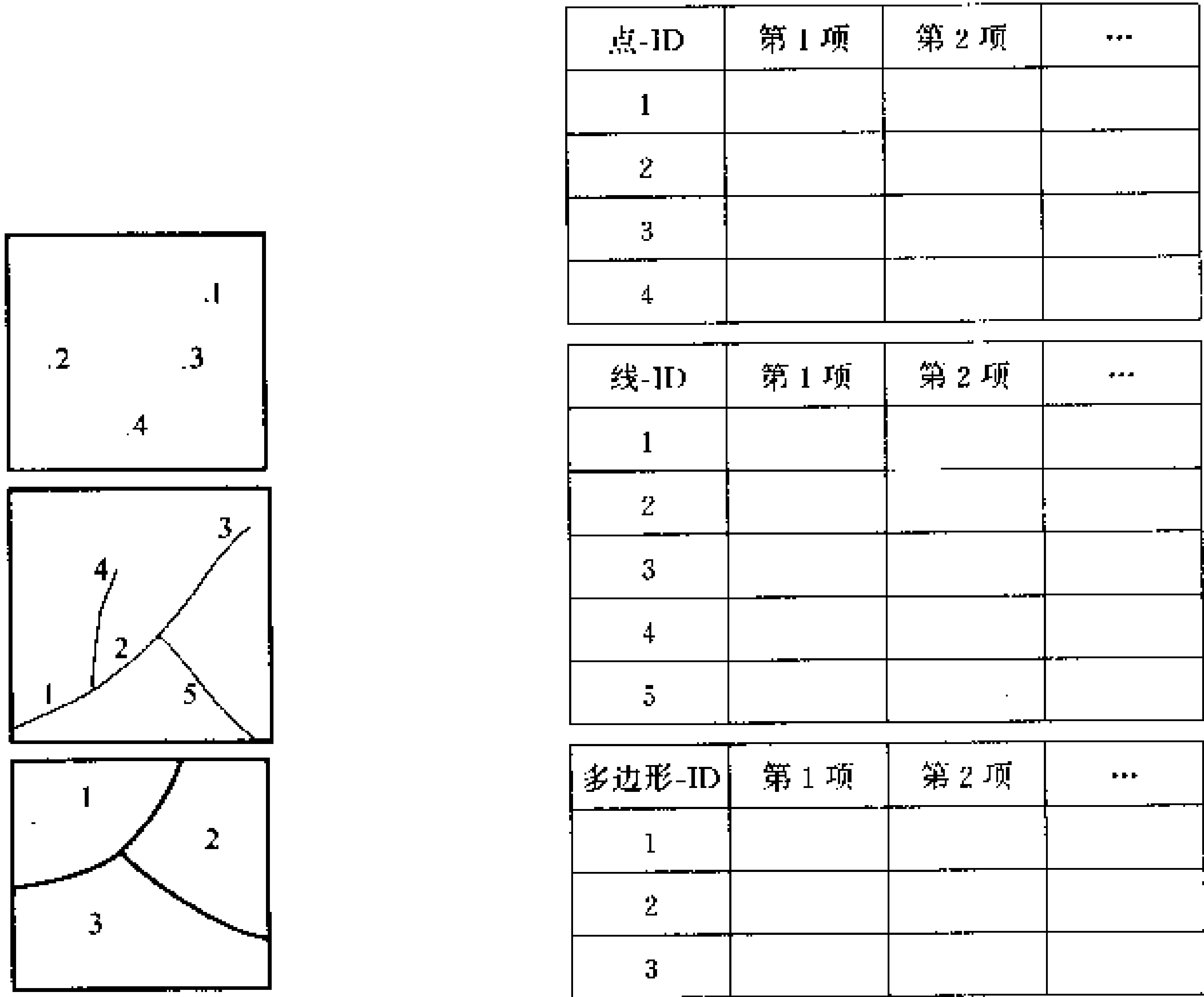
本章分五个部分：第一部分是对GIS中属性数据的概述；第二部分讨论关系数据库模型、数据标准化和数据关系类型；第三与第四部分分别涉及属性数据输入与校核；第五部分讨论通过数据分类与计算来创建新的属性数据。

6.2 地理信息系统中的属性数据

6.2.1 属性数据与空间数据的关联

地理关系数据模型通过要素ID码来关联属性数据与空间数据(图6.1)。每一地图要素有一个惟一ID码。属性数据保存在**要素属性表**中，该表含有标识ID码和默认属性(诸如多边形要素的面积和周长等)。要素属性表的每一行代表一个地图要素(图6.2)，每一列代表地图要素的一个属性。一行称为一个**记录**，一列称为一个**字段**。

如果一幅地图除默认字段外只有几个属性，要素属性表可能是所需的惟一表格。但在多数GIS项目中不是这种情况。例如，一个土壤制图单元可能有80个以上土壤理化性质、解释和性能数据。其中一些数据可直接应用于土壤单元或空间数据。其他的如对性质的解释和性能数据是从土壤属性中得来的。将这些属性数据保存在单独的表中需要许多重复的输入，这个过程既耗时间又耗计算机空间。而且，这样的表格很难使用与更新。



点-ID	第1项	第2项	…
1			
2			
3			
4			

线-ID	第1项	第2项	…
1			
2			
3			
4			
5			

多边形-ID	第1项	第2项	…
1			
2			
3			

图 6.1 右边的属性数据通过地图要素的标识 ID 码与空间数据关联起来。



标识-ID	pH	深度	肥力
1	6.8	12	高
2	4.5	4.8	低

图 6.2 由行和列组成的要素属性表，每一行代表一个地图要素，每一列代表该地图要素的性质和特征。

与其把所有属性数据存在一个单一的表格中，不如用分开的表格来管理属性系统，并使用**数据库管理系统**(DBMS)。DBMS 是用于管理综合和共享的数据库的一套计算机程序(Laurini 等 1992)。DBMS 提供数据输入、搜索、存取、操作和输出的工具。

大多数商业化 GIS 软件包含有数据库管理工具，用于访问本地或外部数据。ARC/INFO 用 INFO，ArcView 用 dBASE 来处理本地数据文件。外部数据库可以用 Oracle，Infomix，SYBASE，Access，FoxPro，SQL Server 或其他的 DBMS。MapInfo 所用设置与 ArcView 相似。MGE 由 Oracle 和 Informix 提供数据库管理工具，并为其他数据库管理系统提供界面。AutoCAD MAP 用 VISION 来管理其数据库。

使用数据库管理系统除了 GIS 方面的应用外还有其他优点。GIS 往往是一个企业范围信息系统的一部分，GIS 所需的属性数据可能存在于同一组织中的不同部门。因此，GIS 必须在整个信息系统内部运行，并和其他信息技术相互作用。面向对象数据模型的一个作用就是将 GIS 整个置于数据库管理系统中。

6.2.2 属性数据的类型

定义属性数据的一种方法是采用 GIS 软件包所允许使用的数据类型。GIS 及计算机编程中使用的数据类型包括字符型、整型、浮点型或实数、日期型、时间间隔。属性表中的每一个字段以数据类型定义,定义的数据类型用于整个字段范围。

定义属性数据的另一种方法是通过量测标尺。量测标尺的概念将属性数据分成标称的(nominal)、有序的(ordinal)、区间的(interval)和比率的(ratio)等数据类型(Stevens 1946,Chang 1978)。

标称数据描述不同种类的数据如土地利用类型或土壤类型。**有序数据**通过排列关系来区分数据。例如,根据人口多少把城市分成大、中、小城市。**区间数据**在数值之间有已知区间,如温度记录。例如,70°F 比 60°F 度高出 10°F 。**比率数据**除了它是基于有意义的数值或绝对的零值以外,其他与区间数据相同。人口密度是比例数据的一个例子,因为密度为 0 是绝对 0。在 GIS 应用中,这四种量测标尺可组成两种高级类别:**类别数据**包括上述的标称和有序,**数值数据**的包括上述的区间和比率。

量测标尺对 GIS 中的数据显示与分析十分重要。地图符号的选择依赖于所要显示的数据。例如,不同大小的符号不适宜于显示标称数据。第 8 章将更详细讨论数据与符号关系。

GIS 分析经常涉及计算,这仅限于对数值数据。例如,描述统计数值诸如平均值、标准差等只能来自数值型数据。但是 GIS 项目中,尤其是那些进行适宜性分析的,通常给标称或有序数据打分,然后用这些分值作计算(Chrisman 1997)。例如,用于房地产开发的适宜性分析,可对不同土壤类型赋予不同的分值,然后将这些分值与其他变量的分值综合计算得出总的适宜性得分。对类别型数据的赋分需要更多基本数据以外的信息。得分值在这里代表解释的数据。

数据类型与量测标尺明显相关。字符型适合于标称和有序的数据。整型与实数适合于区间和比率数据,取决于是否包含小数。但也有例外,例如,研究可能把地下水潜在污染分成高、中、低,但用对照表(look up table)输入数值型数据,1 代表低,2 代表中,3 代表高。若把中等潜在污染看成是低等潜在污染的两倍是错的,因为这里数值仅仅是数字编码。GIS 软件包有转换数据类型的功能(例如,从字符型到数值型,或从数值型到字符型)。GIS 用户在进行分析前必须注意属性数据的性质。

6.3 关系数据库模型

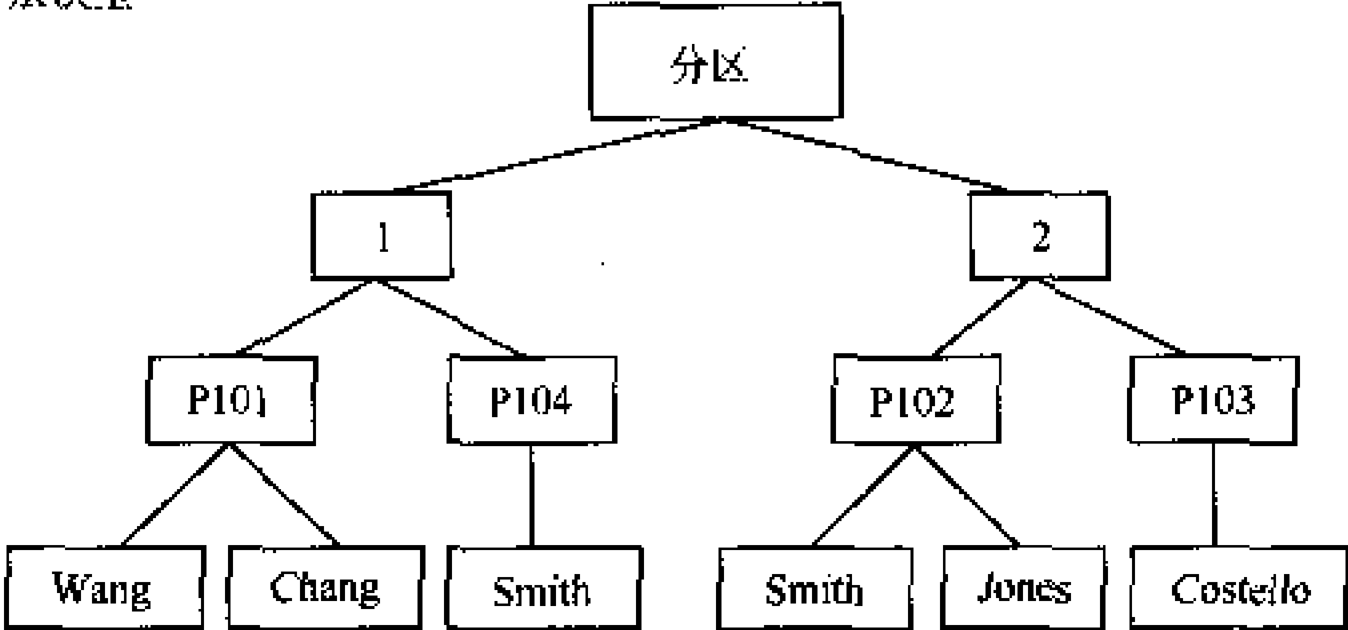
数据库是一系列数字格式的相关表格的集合。有四种数据库设计类型:平面文件(flat file)、层次型(hierarchical)、网络型(network)和关系型(relational)(图 6.3)(Laurini 等 1992,Worboys 1995)。**平面文件**是在一张大表中包括了所有数据。一个扩展的要素属性表就像一个平面文件。另外一个常见的平面文件的例子是电子数据表格(spreadsheet)。**层次数据库**分层次组织数据,在不同层之间仅使用“一对多”关联。图 6.3 的简单例子表示分区、地块和业主等不同层次。每一层次分为不同的分枝。**网络数据库**是在表格间建立联系.

如图 6.3 所示的连接。层次数据库和网络数据库设计的一个共同问题是必须知道表格之间的链接，并且做成为计算机代码。这易导致建立的数据库复杂、灵活性不大。

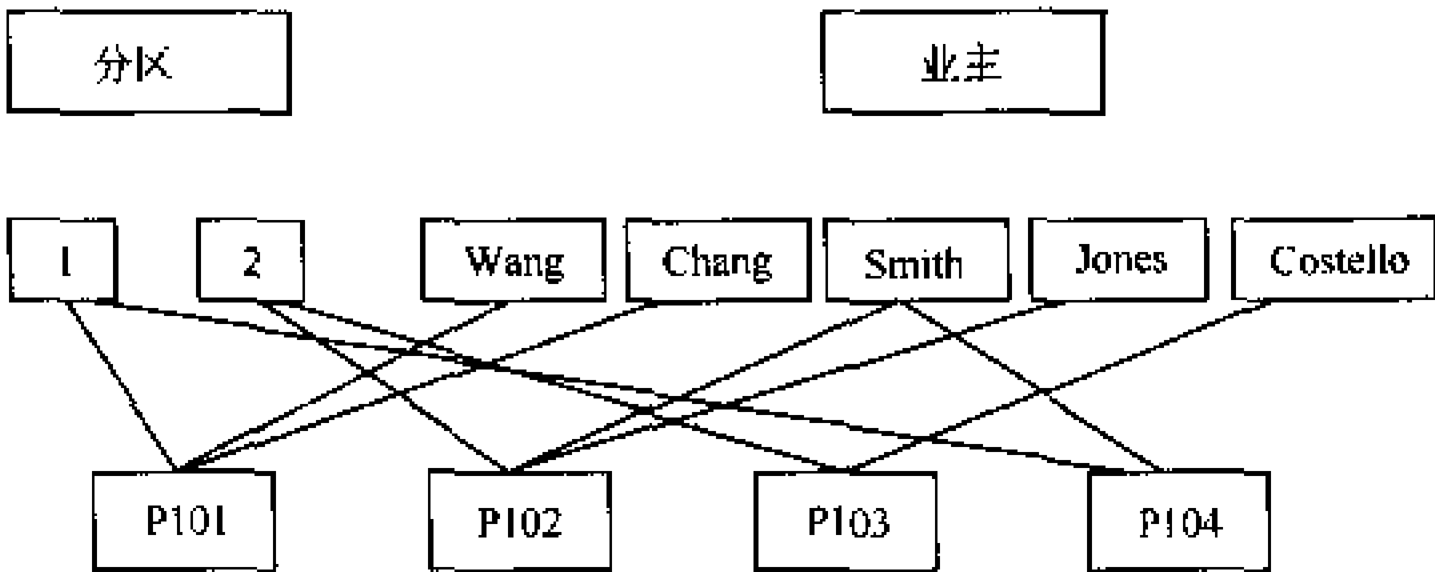
(a) 平面文件

地块标识号	业主	分区
P101	Wang	居住区 (1)
P101	Chang	居住区 (1)
P102	Smith	商业区 (2)
P102	Jones	商业区 (2)
P103	Costello	商业区 (2)
P104	Smith	居住区 (1)

(b) 层次型



(c) 网络型



(d) 关系型

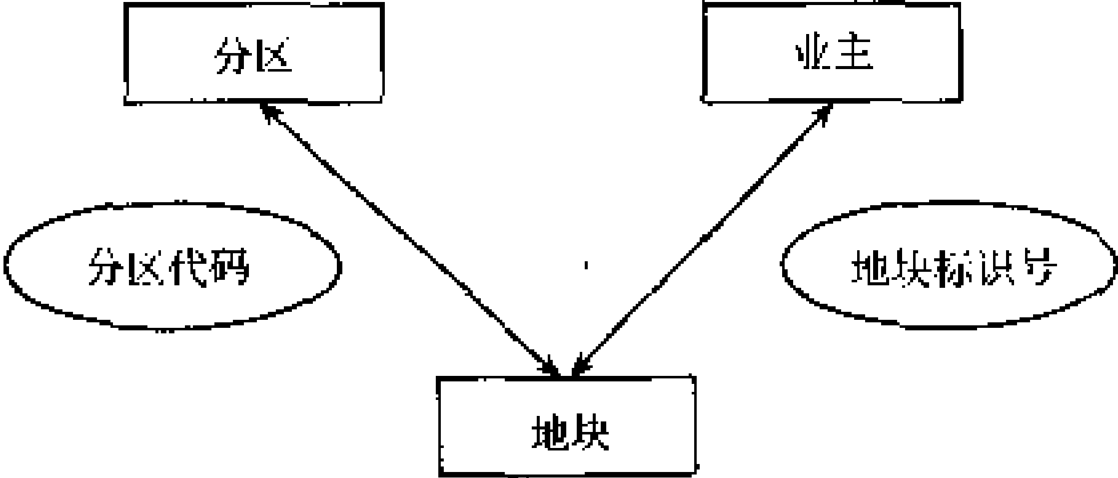


图 6.3　数据库设计的四种类型：(a)平面文件、(b)层次型、(c)网络型和(d)关系型

大多数 GIS 销售商使用关系型数据库来管理数据(Codd　1970,1990)。**关系数据库**是一个表格的集合(也称为关系表)，它们之间通过关键字联系起来。**关键字**代表一个或更多属性，属性值在表格记录中可惟一确定。因此，两个表的共同关键字可在两个表的相应记录间建立连接。在图 6.3 中，连接分区与地块的关键字是分区代码，连接地块与业主的是地块标识号(PIN)。当用在一起时，这些关键字可将分区与业主关联起来。

与其他数据库设计相比，关系数据库更简单、灵活。它有两个突出优点。第一，数据库

中的每一表格可与其他表格分开制备、维护和编辑。这个特征很重要,因为随着GIS技术的逐渐普及,更多的数据将以空间单元来记录和管理。第二,在因查询或分析需要连接不同表格之前,这些表格维持分离状态。关系数据库对于数据管理与处理非常有效,因为往往是临时需要链接表格。

6.3.1 MUIR:关系数据库举例

美国的自然资源保持局(NRCS)制作了全世界的国家范围的**土壤地理调查**(**SSURGO**)数据库。NRCS 由野外制图搜集 SSURGO 数据,并将数据以 7.5 分的四边形单位作为土壤调查区存档。一个土壤调查区可能由一个县、多个县或多个县的一部分组成。SSURGO 数据库提供了美国最详细的土壤制图。与 SSURGO 连接的是**地图单元解译记录**(**MUIR**)属性数据库,它以一系列表格形式包括了大约 88 个土壤理化性质、解释和性能数据。这个综合属性数据库可在网上查到(http://www.statlab.iastate.edu/soils/muir/)。

NRCS 通过土壤调查区、土壤调查区内的地图单元以及地图单元内的地图单元组分来构建 MUIR 数据库(图 6.4)。在该数据库中,用于关联表格的 4 个必需的关键字是:州代码、土壤调查区 ID 码、地图单元符号和序号。前两个关键字定义州和土壤调查区。地图单元符号是调查中每一土壤多边形的数字代码。序号代表土壤制图单元的组分,因为一个单元可能由一个主导土壤或两个以上土壤组分所构成。此外,其他关键字用来关联土壤表与其他查找表。土壤分类表与植物的学名和俗名都是查找表的例子。

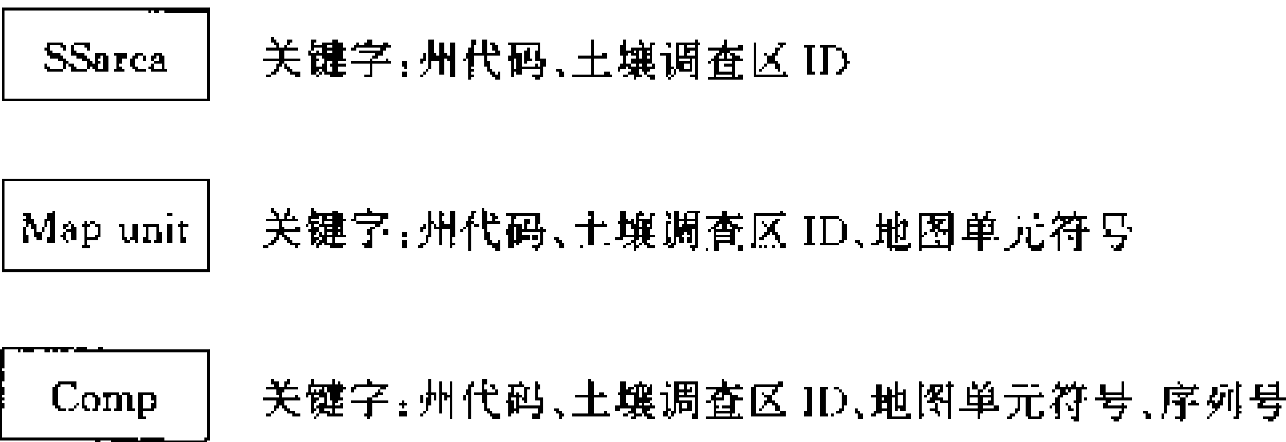


图 6.4 MUIR 数据库中的三个最重要的表格。Ssarea 是土壤调查面积表,map unit 是土壤调查地图单元表,comp 是地图单元组分表。每个表都有关键字可关联到数据库中其他表格。

GIS 用户或许会被 MUIR 数据库的内容之大弄得不知所措。实际上,如果你对关系数据库模型和 MUIR 表的关联中所用关键字有了正确理解,该数据库就不难。本章用 MUIR 数据库来阐明表格之间的关系类型。第 9 章将用该数据库作为数据探查的例子。

6.3.2 正规化

制备如 MUIR 的关系型数据库必须遵循某些规则。规则之一称为正规化(normalization)。正规化是一个分解的过程,将一个包括所有属性的数据表格分解成小的表格,同时保持它们之间的必要的链接(Vetter 1987)。通过正规化可以达到以下几个目标:

(1) 避免表中多余数据浪费数据库空间和可能导致的数据完整性问题。

(2) 确保单独表格中属性数据可以被单独维护、更新,并可在需要时被链接起来。

(3) 有利于形成分布式数据库。

表 6.1 显示地块图的属性数据。表 6.1 尚未正规化,因为含有冗余数据。Smith 的业主地址被重复两次,居住区和商业区被输入两次。非正规化表格不易制备与管理。例如,表 6.1 中作为业主和业主地址字段的数字取值依记录而变,这样很难定义字段和存储字段值。又如,当所有关系改变了,这个表中全部属性数据都必须更新。当增加或删除数值时,操作同样困难。

表 6.1 未正规化的表格

地块标识号	业主	业主地址	销售日期	英亩	分区代码	分区
P101	Wang	101 Oak St	1998-1-10	1.0	1	居住区
	Chang	200 Maple St				
P102	Smith	300 Spruce Rd	1968-10-6	3.0	2	商业区
	Jones	105 Ash St				
P103	Costello	206 Elm St	1997-3-7	2.5	2	商业区
P104	Smith	300 Spruce Rd	1978-7-30	1.0	1	居住区

表 6.2 给出了标准化的第一步。表 6.2(常被称为第一正规化表)在其单元格中不再有多重数值,但增加了数据冗余。除了业主(Owner)和业主地址外,地块 P101 和 P102 重复了两次。居住区和商业区重复记述了三次。而且,仅靠 PIN 来辨认业主地址是不可能的,而需要 PIN 与 Owner 组成的复合关键字。

表 6.2 正规化的第一步

地块标识号	业主	业主地址	销售日期	英亩	分区代码	分区
P101	Wang	101 Oak St	1998-1-10	1.0	1	居住区
P101	Chang	200 Maple St	1998-1-10	1.0	1	居住区
P102	Smith	300 Spruce Rd	1968-10-6	3.0	2	商业区
P102	Jones	105 Ash St	1968-10-6	3.0	2	商业区
P103	Costello	206 Elm St	1997-3-7	2.5	2	商业区
P104	Smith	300 Spruce Rd	1978-7-10	1.0	1	居住区

图 6.5 给出了标准化的第二步。取代表 6.2 的是三个小表,分别是地块、业主和地址表。地块标识号是关联地块与业主的关键字段。业主名字是关联地址与业主表的关键字段。第二正规化表的惟一问题是分区代码和分区两个字段的冗余。

上例中正规化的最后一步概述于图 6.6。建立一个新表——分区(zone)来解决剩下分区的数据冗余问题。分区代码是关联地块与分区表的关键字段。表 6.1 中的非正规化

数据至此已被完全正规化了。

地块表

地块标识号	销售日期	英亩	分区代码	分区
P101	1998-1-10	1.0	1	居住区
P102	1968-10-6	3.0	2	商业区
P103	1997-3-7	2.5	2	商业区
P104	1978-7-30	1.0	1	居住区

业主表

地块标识号	业主名字
P101	Wang
P101	Chang
P102	Smith
P102	Jones
P103	Costello
P104	Smith

地址表

业主名字	业主地址
Wang	101 Oak St
Chang	200 Maple St
Jones	105 Ash St
Smith	300 Spruce Rd
Costello	206 Elm st

图 6.5　由第二步正规化得到的独立表格

地块表

地块标识号	销售日期	英亩	分区代码
P101	1998-1-10	1.0	1
P102	1968-10-6	3.0	2
P103	1997-3-7	2.5	2
P104	1978-7-30	1.0	1

地址表

业主名字	业主地址
Wang	101 Oak St
Chang	200 Maple St
Jones	105 Ash St
Smith	300 Spruce Rd
Costello	206 Elm St

业主表

地块标识号	业主名字
P101	Wang
P101	Chang
P102	Smith
P102	Jones
P103	Costello
P104	Smith

分区表

分区代码	分区
1	居住区
2	商业区

图 6.6　正规化以后的独立表格。

虽然正规化能达到与关系数据库模型相一致的目标，但正规化确实有其减慢数据存取的主要缺陷。例如，为了找到地块主人的地址，你必须关联三个表(地块、业主和地址)且使用两个关键字段(地块标识号和业主名字)。提高数据存取性能的一个方法是减少正规化的层次，例如，通过去除地址表并将地址包含在业主表中。因此，数据库设计还必须考虑正规化以外的其他因素。

6.3.3 关系类型

一个关系数据库中的表格之间通常包括三种关系：一对一、一对多和多对一(图6.7)。为解释这些关系，我们需要定义**源表**与**目标表**。例如，如果目的是为把一个表中的属性数据加到要素属性表中，则要素属性表是目标表，另外一个表就是源表。

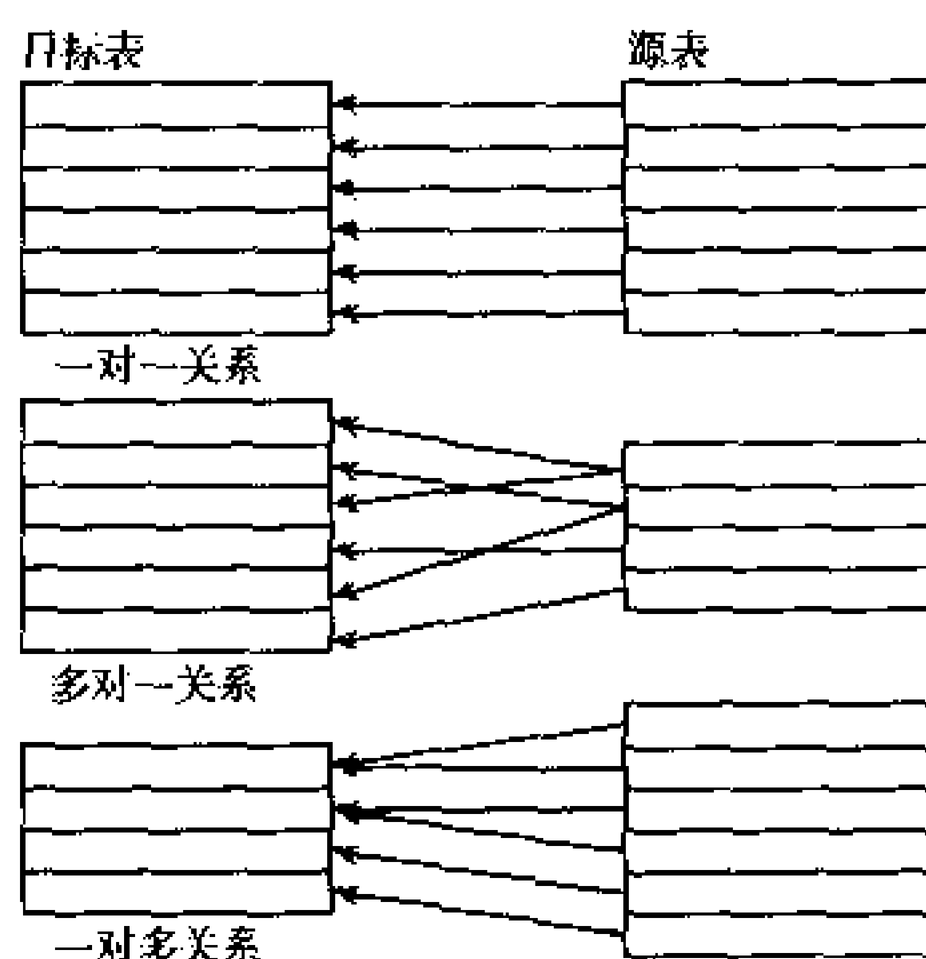


图 6.7 表格之间的三种数据关系类型：一对一、多对一和一对多。

这三种关系中最简单的是"**一对一**"，这种关系是指源表和目标表中都只有一个记录是互相关联的。"**一对多**"的关系是指目标表中的一条记录可以与源表中的多条记录关联。"**多对一**"的关系正好与"**一对多**"相反，目标表中两个以上的记录与源表中的一个记录关联。"一对多"或"多对一"的关系确定下来，则目标表与源表的设计即可确定。

如何设计目标表和源表取决于表中所储数据和寻求的信息。这将在以下两个例子中得到说明。

1. 例1：正规化表格之间的关系类型

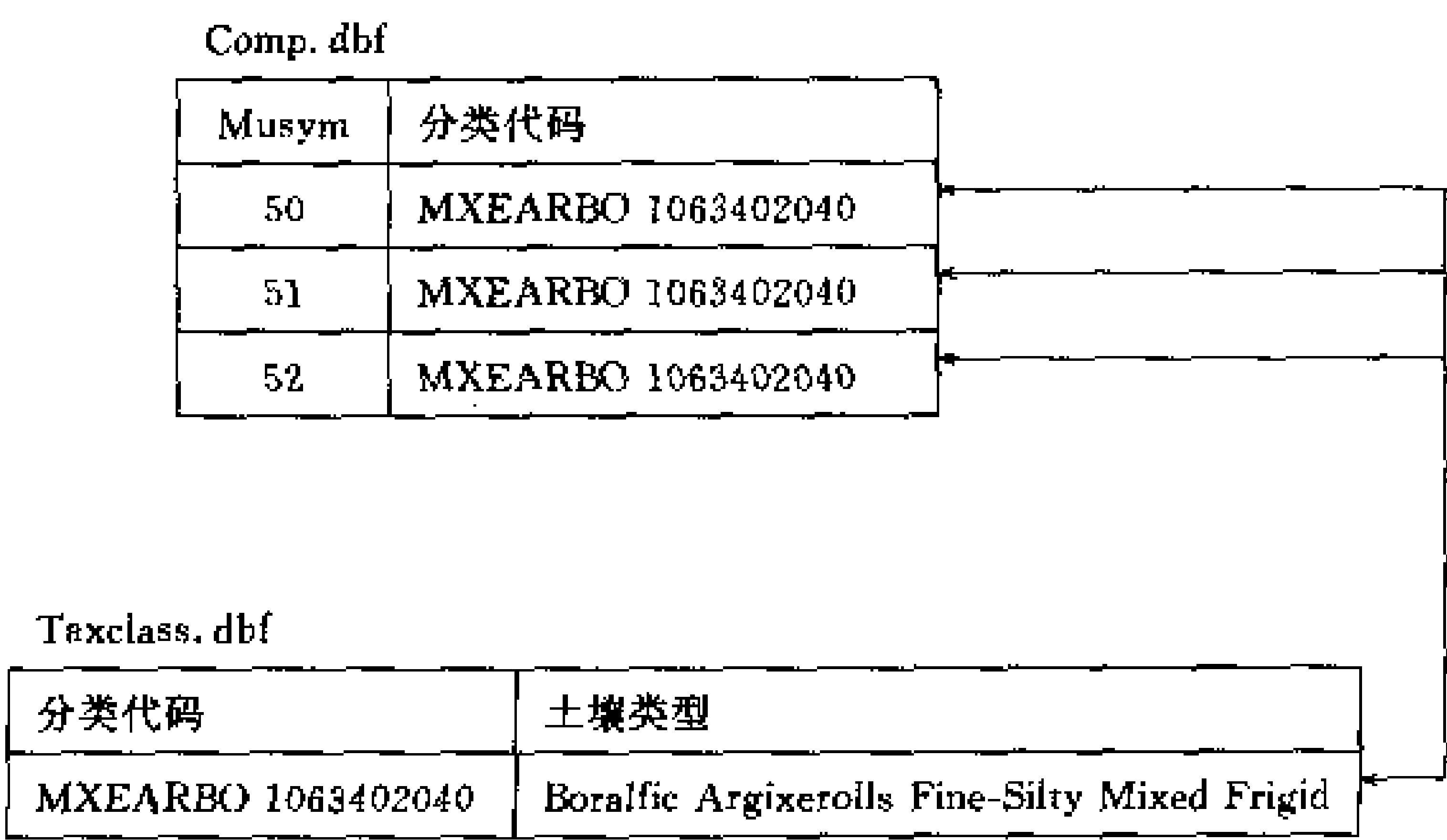
图6.6显示由正规化得到的四个表：地块表、业主表、地址表和分区表。假设问题是要查找选定地块是谁拥有的。为了回答这个问题，你可以把地块表设立为目标表，把业主表设立为源表。两表之间的关系为"一对多"：地块表中的一条记录可以对应于业主表一条以上的记录。

假设问题改为查找选定业主所拥有的地块。这时合适的设计应把业主表作为目标表，地块表作为源表。其关系就变成了"多对一"：业主表中的一条以上的记录可能对应着地块表中的一条记录。地块表与分区表也有同样关系。如果问题是一个选定地块的分区代码，

这是一个“多对一”的关系。如果问题是查找商业区的地块，则是“一对多”的关系。

2. 例 2：MUIR 数据库中的关系类型

更好地理解 MUIR 数据库的一个方法是将表格之间的关系分类。大多数关系不是“一对多”就是“多对一”。例如，“多对一”的关系存在于地图单元组分表（目标表）与土壤分类表（源表）中，因为不同土壤组分可被归为同一土壤类型（图 6.8）。另一方面，“一对多”的关系应用于地图单元组分表（目标表）与土壤剖面层次表（源表）中，因为一个土壤组分可有多个剖面层次。



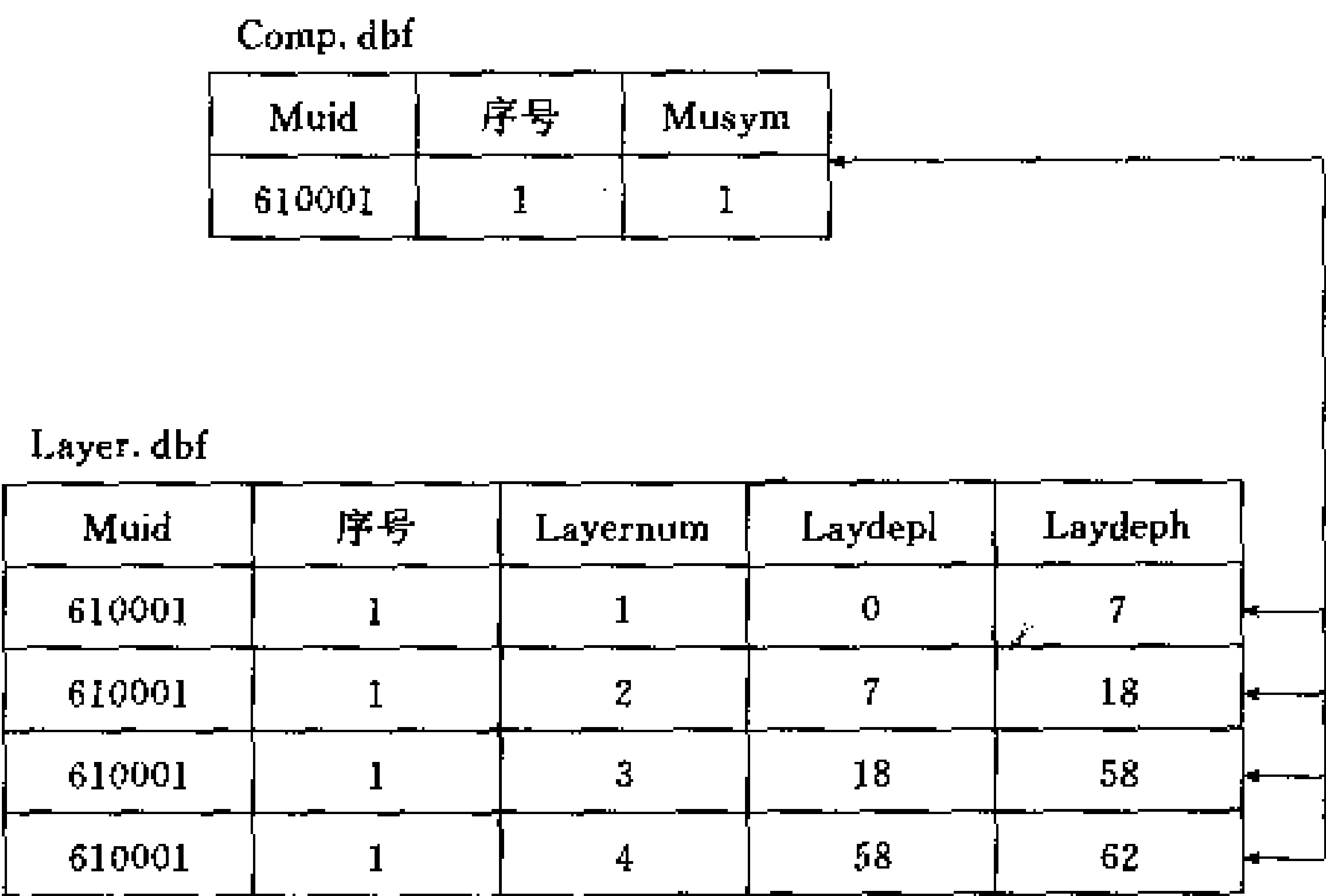
Comp. dbf

Musym	分类代码
50	MXEARBO 1063402040
51	MXEARBO 1063402040
52	MXEARBO 1063402040

Taxclass. dbf

分类代码	土壤类型
MXEARBO 1063402040	Boralfic Argixerolls Fine-Silty Mixed Frigid

图 6.8　爱达荷州 Latah 县的 MUIR 数据库中“多对一”关系的一个例子。comp. dbf 中的三个地图单元组分与 taxclass. dbf 中同一土壤类型关联。



Comp. dbf

Muid	序号	Musym
610001	1	1

Layer. dbf

Muid	序号	Layernum	Laydepl	Laydeph
610001	1	1	0	7
610001	1	2	7	18
610001	1	3	18	58
610001	1	4	58	62

图 6.9　爱达荷州 Latah 县的 MUIR 数据库中“一对多”关系的一个例子。comp. dbf 中一个地图单元组分与 layer. dbf 中 4 个土层关联

3. 关系类型与数据显示

关系类型可影响数据的显示。假设源表是业主表，目标表是地块地图的要素属性表。如果表之间的关系是“一对一”或“多对一”，则显示地块所有权将比较简单。“一对一”的关系使得每一地块都有惟一符号，“多对一”的关系将使得每一符号代表一个或一个以上的

地块。

“一对多”关系在符号化表达中会产生一个问题。因为一个地块可能有一个以上的业主，用业主列表中的第一个业主来代替地块的多个业主就不对了。一种解决办法是对多业主身份设计不同的符号。

6.3.4 用 ArcView 管理属性数据

基于 Windows 的 GIS 软件包有一个长处，它们在表格操作和表格之间不同关系的处理上具有灵活性。这里用 ArcView 为例说明这种灵活性。ArcView 有两种管理表格的功能：连接(JOIN)和关联(LINK)。

假如目标表和源表都有一个关键字段，ArcView 的 JOIN 就可把它们连到一起。该关键字被称为相关字段，它们不必有相同的名称或定义。JOIN 适用于“一对一”或“多对一”的关系。假如是“一对一”关系，两个表以记录连接。假如是“多对一”关系，源表中的一个记录值在目标表中有多个记录值与其对应。JOIN 对于“一对多”关系不很适用，因为源表中只有第一条匹配记录与目标表中的一个记录对应。

LINK 虽然保持表格相互分离，但关注表格中的关联记录，因而 LINK 在“一对一”、“多对一”和“一对多”关系中都有用。它也可以同时进行两个以上的表格操作。LINK 的一个不足之处是由独立表格关联而来的属性不能用于数据查询语句(参见第 9 章)。

6.3.5 用 ARC/INFO 管理属性数据

ARC/INFO 是命令驱动的 GIS 软件包。尽管它有与 ArcView 相同的属性数据管理能力，操作却非常烦琐。JOINITEM 命令以共享项将两个表格永久连接。两个表格的共享项必须定义得完全相同。JOINITEM 可用于“一对一”或“多对一”关系。RELATE 操作具有一个或多个关系，可以将要素属性表与内部或外部属性表连接。执行完 RELATE 后，就将一个表中的一条记录与另外的表的相应记录连接起来。这个关系是暂时的，在每次 ARC/INFO 工作结束时消失。与 JOINITEM 相似，RELATE 最好用于“一对一”或“多对一”关系。

CURSOR 命令可用于“一对多”关系。CURSOR 的功能与 ArcView 中的 LINK 相同。它将源表中与目标表相对应的单一记录高亮显示。这样 CURSOR 使得用户可以一次一个记录地涉及加亮(选中)的记录。

6.4 属性数据输入

6.4.1 字段定义

属性数据输入的第一步是定义表格中每一个字段。字段定义通常包括数据宽度、类型、小数位数。宽度指为每一字段预留的位数，应满足数据中最大的数目或最长字符串。负

号与小数点所占位数也应包括在内。数据类型必须是 GIS 软件包所允许的类型，可以是数值型或字符型。小数的位数是实数数据类型定义的一部分。

有时字符型与数值型定义会混淆。例如，MUIR 数据库中土壤地图单元被定义为字符型。尽管地图单元用数字编码，如 610001、610002 等。这些是用来识别土壤图单元的 ID 号，因此这些单元号是标称数据而不是区间数据或比率数据。换言之，用土壤图单元号 610002 减去 610001 之类的计算是没有意义的。但将土壤图单元号视为数值型数据在某些类型的数据查询中是有用处的，例如，在查询中用到从 610001～610002 数值范围。

6.4.2 数据输入方法

属性数据输入方法与空间数据的数字化相似。属性数据需要由键盘输入。一幅有 4000 个多边形的地图，每个多边形有 50 个属性数据的字段，则共需输入 200 000 个数值。每个 GIS 用户都会对如何减少属性数据输入的时间与努力感兴趣。

如同为 GIS 项目找到现有数据一样，最好先确定政府机构或组织是否已经以数字格式输入了属性数据。如果有，那么你只需将数据文件导入到 GIS 中。数据格式对导入很重要。多数 GIS 软件包可以从数据库服务器，如 Oracle、Access、Sybase、Informix 导入 DBASE 和 ASC Ⅱ 文件。

如果没有属性数据文件，那么键盘输入是一种办法。而键盘输入的工作量依所用的方法或命令而异。例如，ARC/INFO 的 UPDATE 命令可用于属性数据输入，但需要一次一条记录地键入数值。

一种节省输入时间的办法是通过查找表来发挥关系数据库模型的优势。例如，我们不用给土壤图的每个多边形输入属性数据，而可使用一个关键字与一个查找表。首先，每一土壤多边形被赋予一个地图单元符号。其次，制作一个查找表来为每一地图单元符号列出土壤属性。以地图单元符号作为关键字，可把查找表与土壤图连接和关联。同一查找表也可用于同一土壤调查中的其他地图。

用 GIS 软件进行属性数据输入比用文字处理或电子数据表软件包更为烦琐。文字处理软件包提供剪切—粘贴、查找—替换和其他功能，这对输入员尤其是较不熟练输入员很有帮助。因此，用“友好的打字员”软件包来输入属性数据，用与 GIS 软件包兼容格式导出和导入数据文件，不失为明智之举。

6.5 属性数据校核

属性数据校核包括两部分。第一是确保属性数据与空间数据正确关联：标识 ID 码应该是惟一的，不含空值。第二是检查属性数据的准确性。数据校核是很难的，因为不准确性可能归结于许多因素，如观察错误、数据过时和数据输入错误。

检查数据输入错误至少有两种方法。第一，把属性数据打印出来进行人工校对。这和用校核图来检查空间数据准确性相似。第二，可以编写计算机程序来检查数据准确性。例如，NRCS 已经开发出自动数据检查程序来找出土壤属性中的明显错误，如数据类型、数据长度、数据值域和关键数据字段。该程序还可以找出明显有悖于主体有效属性的逻辑错

误，如在同一土壤图单元中的不协调组分。自动数据检查程序需要有关属性数据的专家知识，以及能找出所有错误的精心设计的计算机程序。

使用 ArcInfo 8 中的 geodatabase（地理数据库）模型的一个好处在于它的确认规则（Zeiler 1999）。与属性数据核对直接相关的是关于属性域的规则，它将对象按属性取值的有效范围或有效集分类或分成亚类。假设地块的要素类型中有居住区、商业区、工业区等亚类，分区的字段值为：居住区为 1、商业区为 2、工业区为 3。不管字段如何编辑，该分区值的集合都必须坚持。如果输入一个分区值 9，该值将被拒绝接受，因为它不在数值的有效集范围内。类似用有效数值范围而不是有效数据集作为制约，可应用于地块大小或建筑物高度。

6.6 由现有数据生成新的属性数据

通过数据操作可由现有数据生成新的数据。新数据常针对特定的项目。常见的情景是通过把数据取值分成少数几类来简化现有数据。另外是从现有数据计算新数据。

6.6.1 属性数据分类

数据分类是根据属性值或属性把数据集减至较少类目。例如，海拔可分成低于 500m、500～1000m 等。另一个例子是按海拔和坡度分类：类型 1 为海拔低于 500m、坡度为 0～10%，类型 2 为海拔低于 500m、坡度为 10%～20%等。通过分类来生成新的属性数据有三个操作步骤：一是定义一个新字段来存储分类结果，二是通过查询来选择数据子集，三是给所选数据子集赋值。第二步与第三步一直重复直到所有记录被分类并被赋予新的字段值。数据分类的主要好处是它减少了或简化了数据集，使得新的数据集更易于用在GIS分析或建模。

6.6.2 属性数据计算

生成新数据的一个方法是用现有数据作计算。假设地图的长度单位是米。一个名为英尺新字段就可以由长度×3.28 来计算。

另一个方法可以通过在计算中结合专业知识生成解释数据。假设野生生物栖息地的质量可以用坡度、坡向和海拔的评价作数量化打分。完成这个工作的第一步是对每个变量建立一个评分系统。然后，把坡度、坡向和海拔得分相加求得总得分，用来说明野生生物栖息地的质量。

在上例中，总得分的计算还可包含变量的权重。假设野生生物学家认为海拔的重要性是坡度和坡向的 3 倍，则总分由下式计算：

$$坡度得分 + 坡向得分 + 3 \times 海拔得分$$

不管是否加权，总得分变成了新的属性值，可用于进一步分类和分析。

重要概念与术语

比率数据：数值之间有已知区间的数据，且基于有意义的 0 值，如人口密度。

标称数据：显示不同类别的数据，如土地利用类型或土壤类型。

层次数据库：多层结构并用“一对多”的关系联结不同层次的数据库。

地理关联数据模型：GIS 软件包中常见模型，以二进制文件存储空间数据，以表格存储属性数据，由地图要素的 ID 码关联这两种数据组分。

地图单元解译记录：与土壤地理调查(SSURGO)数据库关联的属性数据库。

“多对一”关系：一种数据关系类型，在这里，目标表中的两个或两个以上的记录与源表中一条记录相联系。

关键字段：用于连接或关联表格的共同字段。

关系数据库：由表格的集合组成的数据库，用关键字来联系各表格。

记录：表格中的一行，代表一个地图要素。也称为行(row)或元组(tuple)。

类别数据：以标称或排序度量的数据。

面向对象数据模型：在单一数据库中存储空间与属性数据的数据模型，如 ArcInfo 8 的地理数据库(geodatabase)模型。

目标表：被赋予数据的表格。

排序数据：按等级排列的数据，如大、中、小城市。

平面文件：所有数据包含于一个大表中的数据库。

区间数据：数值之间有已知区间的数据，如温度记录。

数据库管理系统：用于管理综合的和共享的数据库的一套计算机程序，能完成数据输入、查找、检索、操作和输出等任务。

数值数据：以区间或比率标尺量测的数据。

土壤地理调查数据库：由自然资源保持局维护的数据库，它以 7.5 分的四边形单元获取土壤调查数据。

网络数据库：基于表格之间内置连接的数据库。

要素属性表：存储数字地图属性数据的表格。

“一对多”关系：一种数据关系，目标表中的一个记录与源表中一个以上记录相联系。

“一对一”关系：一种数据关系，目标表中的一个记录与源表中的一个且仅仅一个记录相联系。

源表：从中提取数据的表格。

正规化：将一个包括所有属性数据的表分解成小的表格，同时，在关系数据库中维持表格之间必要链接的过程。

字段：表格中的列，记述地图要素的一个属性。也称做列(column)或项(item)。

应用：属性数据输入与管理

本章应用部分从习作 1 的属性数据简单输入方法开始。习作 2 与习作 3 分别阐述关

联与连接表格。习作 4 与习作 5 分别示明如何通过数据分类与数据计算来生成新属性数据，所有习作在 ArcView 中完成。虽然 ArcView 与 Arc/Info 均有同样的数据输入与编辑功能，但 ArcView 界面更加友好、灵活。

习作 1 在 ArcView 中输入属性数据

所需数据：Landsat.shp，具有 19 条记录的要素主题。

习作 1 中你将把一个新字段加到表中并输入字段值。由于一次只能操作一条记录和一个字段，因而这种数据输入方法适用于数据更新，而不适用于输入大量数据。

1. 启动 ArcView，打开一个新视窗，将 Landsat.shp 加到视窗中去，从 Theme 下拉菜单中选择 Table 以打开 Landsat.shp 主题表。
2. 在输入字段值之前，你需要加一个字段到主题表。从 Table 下拉菜单中选择 Starting Editing。注意主题表中字段名变成非斜体，表明可以编辑了。要增加一个字段，从 Edit 菜单中选择 Add Field。在 Field Definition 对话框中，把名称改为 lucode，类型选为数据型，将宽度改为 4，小数点位数为 0。
3. 现在你可以输入 lucode 值了。点击 Edit 工具，然后点击 lucode 下的第一个单元格，依照下表键入其 lucode 的值，依次输入其余的值。
4. 从 Table 下拉菜单中选择 Stop Editing。当问及是否保存结果，回答"是"。
5. *Lucode* 作为一属性被加到 landsat.shp 中之后，你可以显示 lucode 的值。激活视窗，在目录表中双击 landsat.shp，打开图例编辑器。选择 Unique Values 作为图例类型，lucode 作为赋值字段。点击 Apply。

LANDAT-ID	LUCODE	LANDAT-ID	LUCODE
59	400	69	300
60	200	70	200
61	400	71	300
62	200	72	300
63	200	73	300
64	300	74	300
65	200	75	200
66	300	76	300
67	300	77	300
68	200		

习作 2 ArcView 中表格的关联

所需数据：wp.shp，一个森林立地主题；wpdata.dbf 和 wpact.dbf，两个可被关联到 wp.shp 的属性数据文件。wpdata.dbf 包括了植被与土地类型数据，wpact.dbf 包括了活动记录 。ArcView 为属性数据管理提供了 LINK 与 JOIN。习作 2 中用 LINK 来关联一个要素主题表与两个独立的 dBASE 文件。这些数据文件是关系数据库的一部分。

1. 启动 ArcView，打开一个新视窗，把 wp.shp 加到新视窗中。从 Theme 下拉菜单中选择 Table 以打开 wp.shp 主题表。

2. 确认项目视窗处于激活状态。点击 Table 和 Add 来打开 Add Table 对话框。确认对话框中的文件类型是 dBASE。点击 wpdata.dbf 与 wpact.dbf，将它们作为新表加进来。
3. 排好 wp.shp、wpdata.dbf 和 wpact.dbf 这三个属性表的位置，使之在屏幕上都能看得到。wpdata.dbf 与 wpact.dbf 是含有 wp.shp 的附加属性的 dBASE 文件。在关联中，wpdata.dbf 与 wpact.dbf 称为源表，wp.shp 主题表称为目标表。
4. 首先，用两表中的 Id 作为关联项，将 wpdata.dbf 关联到 wp.shp 主题表。点击 wpdata.dbf 中的 Id 和 wp.shp 主题表中的 Id。然后从 Table 下拉菜单中选择 Link。重复同样步骤，把 wpact.dbf 关联到 wp.shp 主题表。
5. 点击 wp.shp 主题表中一条记录。该记录高亮显示，同时 wpdata.dbf 和 wpact.dbf 中的相关记录以及 wp.shp 中被选中的地图要素也高亮显示。

习作 3 ArcView 中表格的连接

所需数据：wp.shp 与 wpdata.dbf，同习作 2。

习作 3 要求你将一个 dBASE 文件与一个要素主题表连接。在 ArcView 中选择 JOIN 还是 LINK 取决于任务。JOIN 将不同表格的属性数据合并到一个表格中，这使得在查询、分类或计算中使用所有属性数据成为可能。关联表格之间是独立的，这就使得属性数据的操作局限于独立的表格之内。

1. 启动 ArcView，打开一个新视窗，将 wp.shp 添加到视图中。从 Theme 下拉菜单中选择 Table 打开 wp.shp 主题表。
2. 保持项目窗口呈激活状态。点击 Table 与 Add，打开 Add Table 对话框。点击 wpdata.dbf 来添加表格。
3. 至此，你已经打开两个表格：主题表(wp.shp 的属性)与 wpdata.dbf。下一步，你要用两表的 Id 作为关键字段把 wpdata.dbf(源表)中的数据连接到主题表(目标表)中去。
4. 点击 wpdata.dbf 中的 Id 字段使之激活。点击主题表中的 Id 使之激活。
5. 点击 Join 按钮，连接 wpdata.dbf 与 wp.shp 主题表。

习作 4 ArcView 中的属性数据分类

所需数据：wp.shp 与 wpdata.dbf，同习作 3。

在习作 3 中，你已将一个 dBASE 文件连接到 wp.shp 主题表中。习作 4 将显示这个被扩大的主题表和其属性数据如何被用于数据分类和生成新属性。

1. 确认 wp.shp 仍在视窗中，wpdata.dbf 中的属性数据与 wp.shp 主题表仍被连接。
2. 你想将字段 ELEV 中的值分成 4 类。Elev 代表一个植被群丛的平均海拔，用百英尺来度量。Elev 在 wp.shp 中的值域从 24～52。其中一条记录的海拔为 0，因为该多边形不在国家林地辖区之内。Elev 的四种类型是<=40、41～45、46～50 和 >50。
3. 首先，你需要增加一个名为 Elevzone 的新字段用于保存分类结果。按与习作 1 相同步骤：从 Table 下拉菜单中选择 Starting Editing，从 Edit 菜单中选择 Add

Field，并将新字段定义为 Elevzone，数值型，宽度为 2，小数位数为 0。

4. 点击 Query Builder 按钮，打开 Query Builder Box。输入逻辑表达式：([Elev]>0)and([Elev] <= 40)，点击对话框中 New Set。符合逻辑表达式的记录在 wp.shp 主题表中高亮显示，点击 Promote 按钮，使高亮的记录出现在表格上部。关闭 Query Builder 对话框。
5. 从 Field 菜单中选择 Calculate 来打开 Field Calculator 对话框。对话框左下角是显示计算表达式的区域。注意到“[Elevzone]=”已出现在显示区上方。在显示区中输入 1，点击 OK。现在表中所有加亮记录都在 Elevzone 中有了值 1，即被分类为 Elevzone 1。
6. 再次点击 Query Builder 按钮，输入逻辑表达式：([Elev] > 40)and([Elev] <= 45)。点击对话框中的 New Set。打开 Field Calculator 对话框，在显示区输入 2，至此，Elevzone2 的分类已经完成。
7. 重复同样步骤完成 Elevzone3 和 Elevzone4。要保存分类结果，在 Table 下拉菜单中选择 Stop Editing，并选择 Yes 保存编辑结果。

习作 5 属性数据的计算

所需数据：wp.shp 与 wpdata.dbf，同习作 3。

在习作 4 中已经从数据分类中创建了一个新字段。建立新字段的另一种方法是计算。习作 5 将示明由现有属性数据如何建立和计算新字段。

1. 如果 wp.shp 仍在视窗中，激活它；否则，添加 wp.shp 到视窗中并激活它。打开其主题表。
2. wp.shp 主题表中的字段面积是用平方米度量的。在本习作中，你要把面积度量单位转化成英亩。从 Table 下拉菜单中选择 Starting Editing。注意当主题表中的字段名变成非斜体时，即处于可编辑状态。从 Edit 菜单中选择 Add Field。在 Field Definition 对话框中，改变字段名为 acres，类型为数值型，宽度为 8，小数位数为 2。在你点击 OK 并关掉对话框后，新字段 acres 就被加到 wp.shp 主题表中了。
3. 从 Field 菜单中选择 Calculate 打开 Field Calculator 对话框。对话框左下角为计算表达式显示区。注意到“[acres]= ”已出现在显示区上方。双击字段 Area，双击“ / ”，键入 1000000，双击“ * ”，键入 247.11。完整的计算表达式应是：[Area]/1000000*247.11。在 Field Calculator 对话框中点击 OK 并退出。至此，字段 acres 中驻留的值就是以英亩计算的。
4. 要保存计算结果，从 Table 下拉菜单中选择 Stop Editing，并选择 Yes 保存编辑结果。

参考文献

Chang, K. 1978. Measurement Scales in Cartography. *The American Cartographer* 5: 57—64.

Chrisman, N. 1997. *Exploring Geographic Information Systems*. New York: John Wiley & Sons.

Codd, E. F. 1970. A Relational Model for Large Shared Data Banks. *Communications of the Association for*

Computing Machinery 13: 377—387.

Codd, E. F. 1990. *The Relational Model For Database Management, Version* 2. Reading, MA: Addison. **Wesley** Publishing Company.

Laurini, R., and D. Thompson. 1992. *Fundamentals of Spatial Information Systems*, London: Academic Press.

Stevens, S. S. 1946. On the Theory of Scales of Measurement. *Science* 103: 677—680.

Vetter, M. 1987. *Strategy for Data Modelling*. New York: John Wiley & Sons.

Worboys, M. F. 1995. *GIS: A Computing Perspective*. London: Taylor & Francis.

Zeiler, M. 1999. *Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design*. Redlands, CA: ESRI Press.

第7章 栅格数据

7.1 引 言

矢量数据模型用点、线和面几何对象来构建空间要素，这对于有确定位置与形状的离散要素较为理想，但矢量数据模型对于连续变化的空间现象，如降雨量、海拔、土壤侵蚀等的表示不很理想。表示连续现象的较好选择是栅格数据模型。

栅格数据用一个规则格网来描述与每一格网单元位置相对应的空间现象特征的位置和取值。在概念上，空间现象的变化由格网单元值的变化来反映。栅格数据以域为基础来描述，而矢量数据以对象为基础来描述(Burrough 等 1998)。

GIS 中的许多数据都用栅格格式来表示。这些数据包括数字高程数据、卫星影像、数字正射影像、扫描地图和图形文件。多数 GIS 软件包能同时显示栅格数据与矢量数据，也可以在矢量与栅格之间相互转换。栅格数据也将许多数据分析功能引到 GIS 中。在 GIS 应用中，栅格数据在许多方面是矢量数据的补充。因而将两种数据相结合是 GIS 项目的一个普遍特征。

本章单独介绍栅格数据，因为这个数据模型决定了 GIS 数据如何构建、存储、处理。本章分成六个部分。第一部分讨论栅格数据的基本要素；第二部分阐述不同类型的栅格数据；第三部分概述数据结构、数据压缩与数据文件；第四部分解释栅格数据的投影与几何变换；第五部分讨论矢量与栅格数据之间的变换；第六部分提供 GIS 中矢量数据与栅格数据综合运用的例子。

7.2 栅格数据模型要素

栅格数据模型在 GIS 中也被称为格网、栅格地图、表面覆盖(surface cover)或影像。这里采用格网的称法。格网由行、列、格网单元组成。行、列由格网左上角起始。在二维坐标系统中，行作为 y 坐标，列作为 x 坐标。格网单元由其行、列位置定义。

栅格数据用单个格网单元代表点，用一系列相邻格网单元代表线，邻接格网的集合代表面(图 7.1)。格网中的每一个格网单元有一个值，**整型**或**浮点型**(带小数位的值)。整型格网单元值通常代表类别数据，例如，土地覆被模型可用 1 代表城市用地、2 代表林地，3 代表水体等。浮点型格网单元值常表示连续数据，例如，降水量模型可能有 20.15、12.23 等降水量数值。浮点型格网比整型格网需要更多的计算机存储资源，这是涉及大范围的 GIS 项目必须考虑的一个重要因素。而且，浮点型网格的数据查询与显示应该基于 12.0～19.9这样的值域，而非单个值。

格网中的每一单元值代表了由此行此列决定的该位置上空间现象的特征。栅格数据模型不把空间数据与属性数据明确分开，因此对于数据库管理用处不大，这与矢量数据不

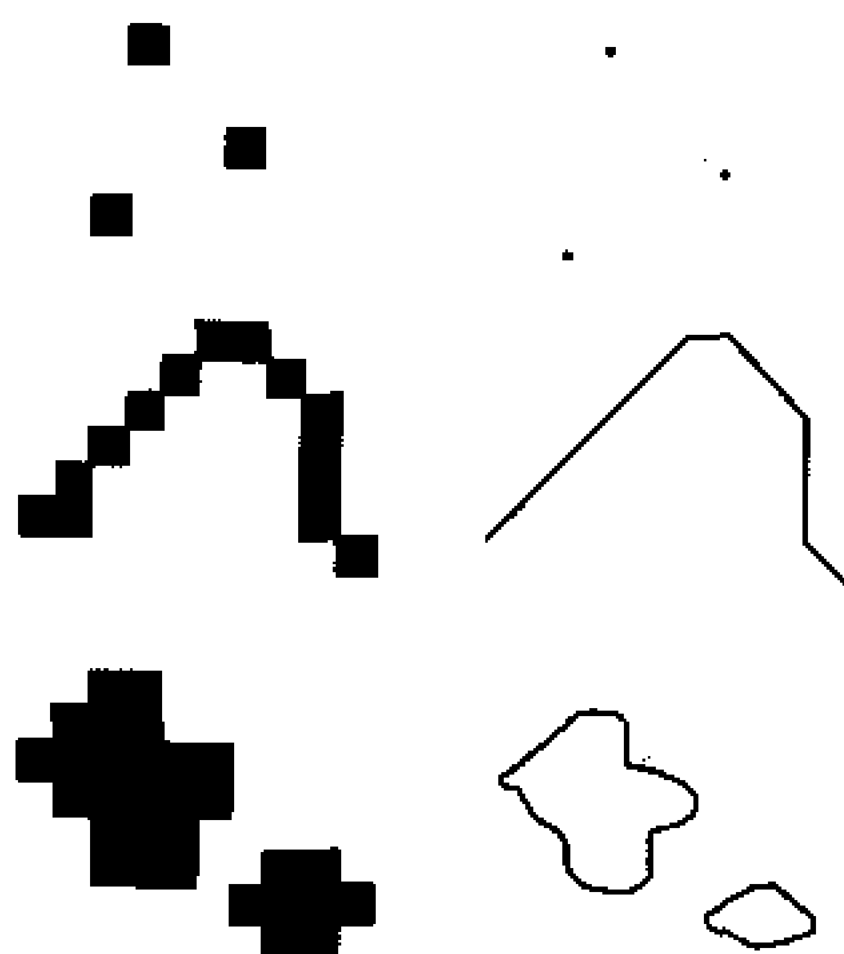


图 7.1　用栅格(左)与矢量数据(右)来表示点、线和面要素。

同。虽然整型格网可有数值属性表(value attribute table),但该表主要用于合计单元值及其频率。

在格网中存储多种属性值的一个方法是用某种单元 ID 码作为网格值。例如,一个表示太平洋西北部县份的格网可用县的 FIPS 编码(美国联邦信息处理标准)作为格网单元值,并以单独字段存储人口与收入数据。这种数值属性表的基本功能是数据存储。格网可用于显示人口或收入数据,但用格网查询与分析仅限于 FIPS 代码。栅格数据模型与矢量数据模型的一个重要差别是格网与其单元值之间的牢固联结。

格网单元的大小决定了栅格数据模型的分辨率。一个 30m 的格网单元意味着每一个格网单元的面积为 $900m^2$($30m \times 30m$)。大尺寸网格单元无法表示空间要素的精确位置,这就增加了在一个格网单元中存在混合要素(如森林、牧场与水体)的机会(注释栏 7.1)。采用较小的格网单元,这些问题就会得到缓解。但小尺寸网格增大了数据量和数据处理时间。

注释栏 7.1　决定分类单元格赋值的规则

如果一个大的格网单元涵盖了地面的森林、草场和水体,对该单元应输入何种类型?或许最通常的方法是输入占据该单元最大面积百分数的类型。但在有些情况下,"多数决定规则"不是最佳选择。例如,濒危物种的研究将更倾向于运用"出现与否规则"而非"多数决定规则"(Chrisman 1997)。只要濒危物种在单元中出现,不论占据该单元多大比例,该单元将取"出现"的代码。同理,单元值的决定基于所研究的空间要素的重要性排序。如果认为草场比森林和水体更重要,三个要素混合的单元就取草场的代码。

格网常被投影到 UTM 坐标系统。所以,当矢量数据与栅格数据具有相同坐标系时,它们就可以一起显示。格网的面积范围也可以通过读取左下角与右上角的点的现实世界坐标来确定。应该注意的是,现实世界坐标系的原点在左下角,不同于格网的原点。

虽然,栅格数据模型在表示空间要素的精确位置时有缺点,但它在有确定的格网位置三上有独特的优点(Tomlin　1990)。在算法上,格网可视为行与列的矩阵,其单元值储存

为二维数组。常用编程语言易于处理数组变量。因而，栅格数据对于数据的操作、集合和分析比矢量数据更容易。

7.3 栅格数据类型

7.3.1 卫星影像

遥感卫星影像是用栅格格式记录的。美国**陆地卫星**从1972年以来产生了应用最为广泛的全球影像。陆地卫星1、2、3号通过多光谱扫描仪(MSS)获取影像，空间分辨率约为79m。空间分辨率与地面像元大小相关。例如，79m的空间分辨率意味着卫星影像上的每个像元对应地面像元79m×79m的范围。MSS影像在1992年终止。

陆地卫星4号发射于1982年，带有一个新传感器——专题制图仪(TM)扫描仪。TM在MSS基础上有重要改进，提供了30m分辨率。1984年，第二个TM在国外发射(陆地卫星5号)。陆地卫星6号在1993年发射后没有进入轨道。陆地卫星7号于1999年4月成功发射，带有增强型专题制图仪1(ETM1)传感器(http://landsat7.usgs.gov/)。这个增强的传感器是设计用来季节性监控全球范围内小尺度变化过程，如植物生长周期、森林砍伐、农业土地利用、土壤侵蚀及其他形式土地退化、雪积与雪融和城市化。陆地卫星7号的影像的空间分辨率为30m。

美国国家海洋大气局(NOAA)用气象卫星作为天气预报与监测的辅助手段。NOAA极轨环境卫星(POES)带有高级甚高分辨率辐射计(AVHRR)扫描仪，这为大面积土地覆被与植被制图提供了有用数据(http://edcdaac.usgs.gov/1kmhomepage coverage.html/)。AVHRR数据为1.1km分辨率，这对某些GIS项目过于粗糙，但这样粗的分辨率由**AVHRR**数据的每日覆盖和改化存储介质(reduced volume)所弥补。

法国地球观测卫星(**SPOT**)系列始于1986年(http://www.spot.com)。每个SPOT卫星带有两个传感器。全感应传感器获取10m空间分辨率的单波段影像，而多光谱传感器则获取三个波段20m分辨率影像。高空间分辨率使得SPOT影像成为GIS项目的良好空间数据源。20世纪80年代末以来，其他重要卫星发射计划在印度(http://www.isro.org)与日本(http://www.nasda.go.jp)也已建立。

1985年美国陆地卫星私有化，为私人公司收集与销售由不同平台和传感器获取的遥感数据打开了大门。Space Imaging (http://www.spaceimaging.com)公司为此类公司之一。Space Imaging公司的Ikonos卫星设计用来获取1m分辨率的全色影像和4m分辨率的多光谱影像。Ikonos卫星于1999年9月成功抵达轨道，成为第一颗1m分辨率的商业卫星。1m分辨率足以发觉地面像小汽车、小房子、火灾和军队部署这类目标。其他公司像EarthWatch Incorporated(http://www.digitalglobal.com/)也计划把高分辨率影像推向市场。

卫星影像像元值代表从地球表面反射或发射的光能(Lillesand等2000)。光能的量测基于来自连续波长的光谱波段，即电磁光谱。全色影像包含一个波段而多光谱影像包含了一系列波段。例如，TM影像有7个波段：蓝、绿、红、近红外、中红外I、热红外、中红外II。

与 GIS 软件包不同，影像处理系统必须能够存取和处理多波段影像。虽然影像处理软件如 ERDAS(http://www.erdas.com)与 ER Mapper(http://www.ermapper.com)具有易用于 GIS 的数据处理功能。

通过分析像元值，影像处理系统可从卫星影像中提取各种专题，如土地利用与土地覆被、水文、水质、侵蚀土壤面积等。卫星影像可以用黑白或彩色显示。如果有蓝、绿、红波段的像元值，卫星影像也可以模拟彩色照片。如果 3、2、1 波段分别赋予红、绿、蓝，影像看起来像彩色照片，如果波段 4、2、3 分别赋予红、绿、蓝，则影像看似彩红外照片。

7.3.2　数字高程模型

数字高程模型(DEM)由等间隔海拔数据的排列组成。DEM 以点为基础的，但也容易通过将海拔高度点置于格网单元中心的方法转换成栅格数据。大多数美国 GIS 用户使用美国地质调查局(USGS)提供的 DEM。USGS 提供四种类型的 DEM 数据：7.5 分的 DEM、30 分的 DEM、1 度的 DEM、阿拉斯加 DEM。每一种 DEM 文件除海拔数据外还包括头信息(如量测单位、最低与最高海拔、投影参数以及数据准确度统计值)。USGS 有一个网站，以州为单位更新 DEM 数据(http://mcmcweb.er.usgs.gov.status/dem.stat.html)。

1. 7.5 分数字高程模型

7.5 分 DEM 提供 UTM(通用横轴墨卡托)投影的格网上间隔为 10m 或 30m 的高程数据。每个 DEM 覆盖 7.5 分×7.5 分的地区，对应于 USGS 的 1∶24 000 比例尺标准图幅(注释栏 7.2)。7.5 分 DEM 据其生产方法分为四个层次，第一层次的数据最不准确，第四层次数据最准确。现在大多数州仅有第一层次和第二层次数据。第一层次的 DEM 具有 15m 或更好的垂直精度，而第二层次 DEM 具 7m 垂直精度。第二层次的 DEM 源自等高线(Kumler　1994)，有 30m 或 10m 的分辨率。

7.5 分数字高程模型中的非数据之破碎多边形

尽管 7.5 分 DEM 对应于 USGS 的 1∶24 000 比例尺的标准图幅，但非数据的破碎多边形常沿 DEM 的边界出现。这是因为 DEM 的边界坐标未能形成矩形，因而不能与 USGS 的标准图幅完全匹配。7.5 分 DEM 数据存储为一系列轮廓线，每条轮廓线之间为 30m 固定间距。当 DEM 投影到 UTM 坐标系统时，7.5 分 DEM 的边界坐标形成了四边形而非矩形。非数据值被用于填充这些不平整的行和列。

2. 30 分数字高程模型

30 分 DEM 提供在地理网格上以 2 个弧度秒为间隔的高程数据(在中纬度大约为 60m)。每个 DEM 覆盖 30 分×30 分地区，相应于 USGS 的 1∶100 000 比例尺标准图幅 30 分×60 分的东半幅或西半幅(Kumler　1994)。30 分 DEM 的垂直精度等于或大于 25m(80ft)，为 1∶100 000 比例尺标准图幅等高距的一半。

3. 1 度数字高程模型

1 度 DEM 提供地理网格中 3 弧度秒为间隔的高程数据(在中纬度约为 100m)。每个 DEM 覆盖了 1 度×1 度地区,相应于 USGS 的 1 度×2 度、1∶250 000 比例尺标准图幅的东半幅或西半幅。美国国防测绘局(DMA,现为国家图像与制图局 NIMA)最初是由数字化等高线插值生产出 1 度的 DEM。其高程数据的垂直精度大约为 30m(100ft)。

4. 阿拉斯加数字高程模型

USGS 提供了 7.5 分与 15 分的阿拉斯加 DEM,其间隔参照经纬度。7.5 分阿拉斯加 DEM 的间隔是纬度的 1 弧度秒(arc second)×经度的 2 弧度秒,15 分的阿拉斯加 DEM 是纬度的 2 弧度秒×经度的 3 弧度秒。

5. 非 USGS 的数字高程模型

生产 DEM 的一个基本方法是采用立体测图仪和具有重叠区的航片。立体测图仪创建了三维模型,使得操作者可以编辑高程数据及正射影像。尽管这种方法可生产出比 USGS 的 DEM 更细分辨率、更高精度的 DEM 数据,但对于大范围区域费用太昂贵。

有其他方法可替代立体测图仪。其中一种为 GIS 用户中非常普及方法,是由诸如 SPOT 立体模型这样的卫星影像生成 DEM。在微机中从 SPOT 影像中提取高程数据的软件已可买到。除影像数据外,数据提取过程还需要地面控制点,这可以在野外由 GPS(全球定位系统)差分订正而得。这样得到的 DEM 的质量取决于软件包质量与输入的质量。

Intermap Technologies 是一家专门生产商业化 DEM 数据的加拿大公司(http://www.intermaptechnologies.com)。该公司提供两种 DEM 数据,第一种是由立体雷达数据生成的 5～15m 间隔的高程数据,垂直分辨率为 2～5m。雷达是一种主动式传感器:它发出微波脉冲,测量从地面目标反射回的能量。因而雷达可以穿透云层,而云层常是航空摄影中的一个大问题。Intermap Technologies 公司的第二种 DEM 是从卫星影像得到的,其垂直分辨率为 15～30m。

6. 全球数字高程模型

全球尺度的 DEM 现在已经有了。GTOPO30 是一种全球 DEM,其格网水平间隔为 30 弧度秒(约 1km)(http://edcwww.cr.rsgs.gov/glis/hyper/guide/etopo51)。ETOPO (Earth Topography-5 Minute)数据覆盖了地球陆地表面和海底,其格网间隔为 5 分经度×5 分纬度(http://edcwww.cr.usgs.gov/glis/hyper/guide/etopo5/)。

7.3.3 数字正射影像

数字正射影像图(DOQ)是一种由航片或其他遥感数据制备而得的数字化影像,其中由照相机镜头倾斜和地形起伏引起的位移已被消除。数字正射影像是地理坐标参考的,并可与地形图和其他地图配准。USGS 自 1991 年起,从 1∶40 000 比例尺的国家航空摄影计划得到的航空相片中生产数字正射影像,预期到 2004 年完成美国本土的全覆盖。

标准的 USGS 数字正射影像的格式是 3.75 分四分之一标准图幅或 7.5 分标准图幅的黑白、彩红外或自然彩色影像。多数 GIS 用户使用黑白的 3.75 分四分之一标准图幅，地面分辨率为 1m(即影像中一个像元代表地面 1m×1m)，像元值代表 256 个灰度水平，类似于单一波段的卫星影像。

几十年来，地图制图者通过将地图符号置于航片上的方法产生了影像地图，有校正和未校正的。沿袭这一传统，数字正射影像将照片的影像特征与地图的几何品质结合起来，可以很容易地与 GIS 相结合。数字正射影像是数据显示或数字地图更新的理想背景。

7.3.4　二进制扫描文件

二进制扫描文件是含数值 1 或数值 0 的扫描图像。用于跟踪的扫描文件是二进制扫描文件的一个例子(参见第 4 章)。用来数字化的地图常以 300dpi 或 400dpi(每英寸的点数)进行扫描。

7.3.5　数字栅格图形

数字栅格图形是 USGS 地形图的扫描图像。USGS 以 250dpi 扫描 7.5 分地形图，从而产生地面分辨率为 2.4m(8ft)的数字栅格图形。USGS 在每个 7.5 分的数字栅格图形上用了多达 13 种颜色。数字栅格图形以 UTM 坐标系统为地理坐标参考，用 2.5 分格网标高作为控制点。

7.3.6　图形文件

地图、照片和影像可存储为数字图形文件。许多大众化图形文件为栅格格式，如 TIFF、GIF 和 JPEG。USGS 在数字正射影像中常用 TIFF 或 GeoTIFF 格式。GeoTIFF 是 TIFF 格式的地理坐标参照版本。有了影像的地理坐标参照信息，数字正射影像就很容易与其他 GIS 数据一起使用。

7.3.7　特定地理信息系统软件的栅格数据

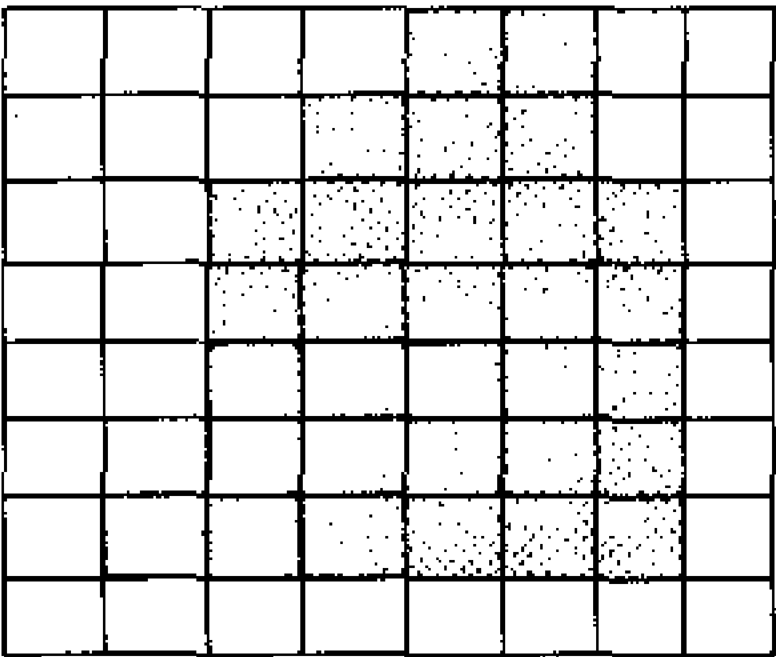
GIS 软件包使用从 DEM、卫星影像、扫描图像、图形文件和 ASCⅡ 文件导入的栅格数据，或从矢量数据转换而来的数据。这些栅格数据名称不同，例如，ARC/INFO、ArcView 和 MGE 称栅格数据为格网，GRASS 称栅格地图层(raster map layers)，IDRISI 称影像(images)，PCI 称地面覆盖(surface covers)。

ARC/INFO 格网基于专用格式，它存储为整型或浮点型格网。整型格网有一个表格存储格网单元值，而浮点型格网没有。ARC/INFO 与 ArcView 都可以将浮点型格网与整型格网相互转化。它们还可以将基于矢量的图层和 shapefiles 与格网相互转化。

7.4 栅格数据结构、压缩和文件

7.4.1 数据结构

栅格数据结构是指栅格数据的存储，使得它们能被计算机使用与处理。最简单的数据结构名为“**单元依序编码**”(cell-by-cell encoding)法：栅格模型被存为矩阵，其格网单元值写成一个行列式文件(图7.2)。本方法在格网单元水平起作用，若栅格模型中的单元值连续变化的话，本法十分理想。



第1行：00001100
第2行：00011100
第3行：00111110
第4行：00111110
第5行：00111110
第6行：01111110
第7行：01111110
第8行：00000000

图7.2 单元依序(cell-by-cell)数据结构用行与列记录每一格网单元值。

数字高程模型采用单元依序数据结构，因为很少有相邻海拔值是相同的。卫星影像也用这种方法来存储数据。然而，具多光谱波段的卫星影像的每一个格网单元或像元有一个以上的值。多波段影像通常用以下三种格式存储：波段依行交替(.bil)方法存储图像文件中每一行的第一个值，接着是每一行的第二个值，以此类推；波段序列(.bsq)方法依次存储图像文件中每一波段的卫星数据；用波段依像元交替(.bip)方法，依次存储影像中的每一行，第一行所有波段，第二行所有波段，依次类推。

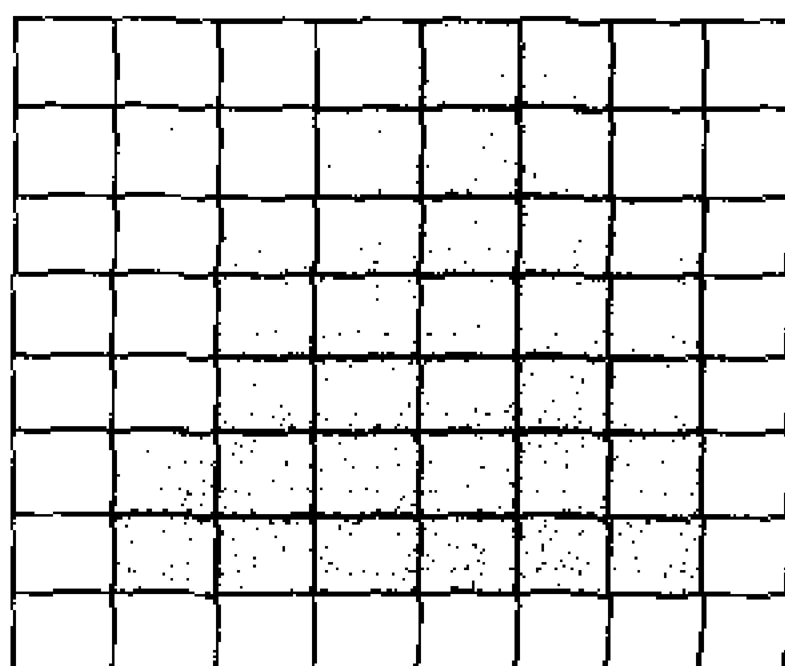
当栅格数据含有冗余格网值时，单元接单元编码方法就不再有效了。例如，一幅土壤图的二进制扫描文件有许多代表空白区的0，仅有少量代表土壤界限的墨线。像二进制扫描文件这样的栅格数据模型，可用**游程编码**(RLE)更有效地存储，它是以行和组来记录格网单元值的(图7.3)。每一组包括了一个格网值和拥有该值的格网个数。如果一行中所有单元含有相同值，则仅有一组被记录，这样节省了计算机存储资源。

游程编码法每次操作一行，它对于记录二维要素(文献中常称为区域)的效果不好。处理二维要素尚有三种方法：链代码、块码和四叉树(Worboys 1995，Burrough 等 1998)。

链代码法是用一系列基本方向与单元数来表示区域边界。例如，N1表示向北移动一个单元，S4表示向南移动四个单元。图7.4说明一个区域的链代码。该方法的一个变种是用数字来代表基本方向，例如，0为东，1为北，2为西，3为南。

块码法用方块来表示区域。单位方块代表一个格网单元，4-方块代表2×2个格网单元，9-方块代表3×3个格网单元，依此类推。用中央轴转换方法(Rosenfeld 1980)，每一个方块仅用一个格网单元的位置(例如，方块左下角)与该方块的边长来编码。图7.5显示一个区域的块码。

区域四叉树是用递归分解方法将格网分成象限层次(Samet 1990)(图7.6)。含有相同值的象限不再续分，而作为叶节点存储。叶节点用均一象限的值来编码。含有不同单元



第1行：5 6
第2行：4 6
第3行：3 7
第4行：3 7
第5行：3 7
第6行：2 7
第7行：2 7

图 7.3　游程编码法以游程记录网格单元值。例如，第 1 行第 5 列和第 6 列有两个相邻单元为灰色或取值 1，因此第 1 行以一个游程编码，始于第 5 列止于第 6 列。其他行以同样方法记录。

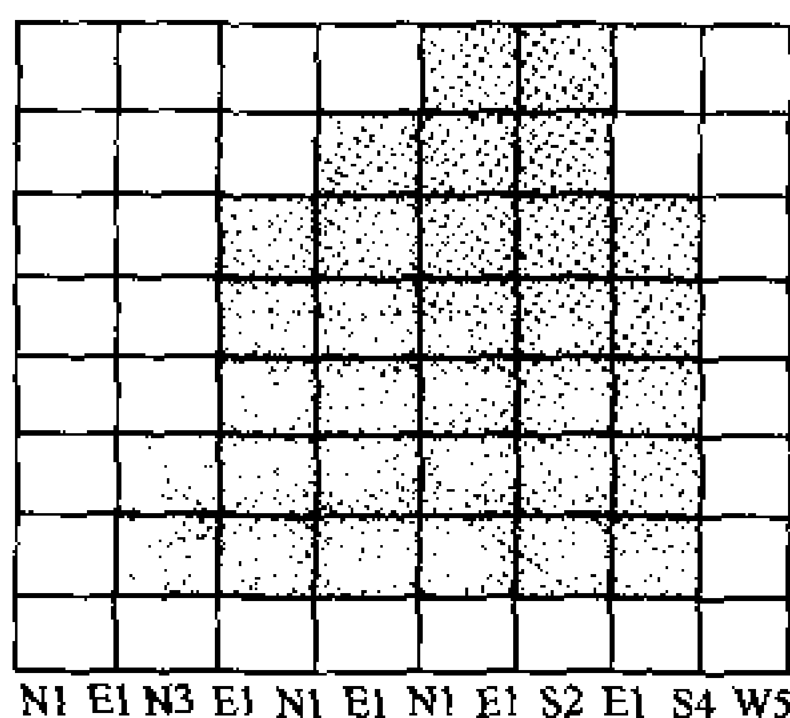


图 7.4　链代码法从该区域的左下角单元开始，用基本方向和单元数记录区域边界。此例沿顺时针方向记录。

值的象限被续分，直到更小层次的象限中仅有一个值。递归分解即指这种连续向下划分的过程。区域四叉树是存储面状数据的有效方法，尤其当数据代表少量类别时。本方法对于数据处理也很有效(Samet　1990)。

GIS 软件包采用不同的栅格数据结构。GRASS 与 IDRISI 都使用单元依序或游程编码方法存储栅格数据。SPANS 用四叉树数据结构。ARC/INFO 格网用分等级的片一块一单元数据结构。一个格网据其大小被分成许多片或视为一个片。每个片被续分成一系列矩形块，每一块由许多格网单元组成。格网单元值由块存储。每块用单元依序或游程编码方法存储为一个可变长记录。

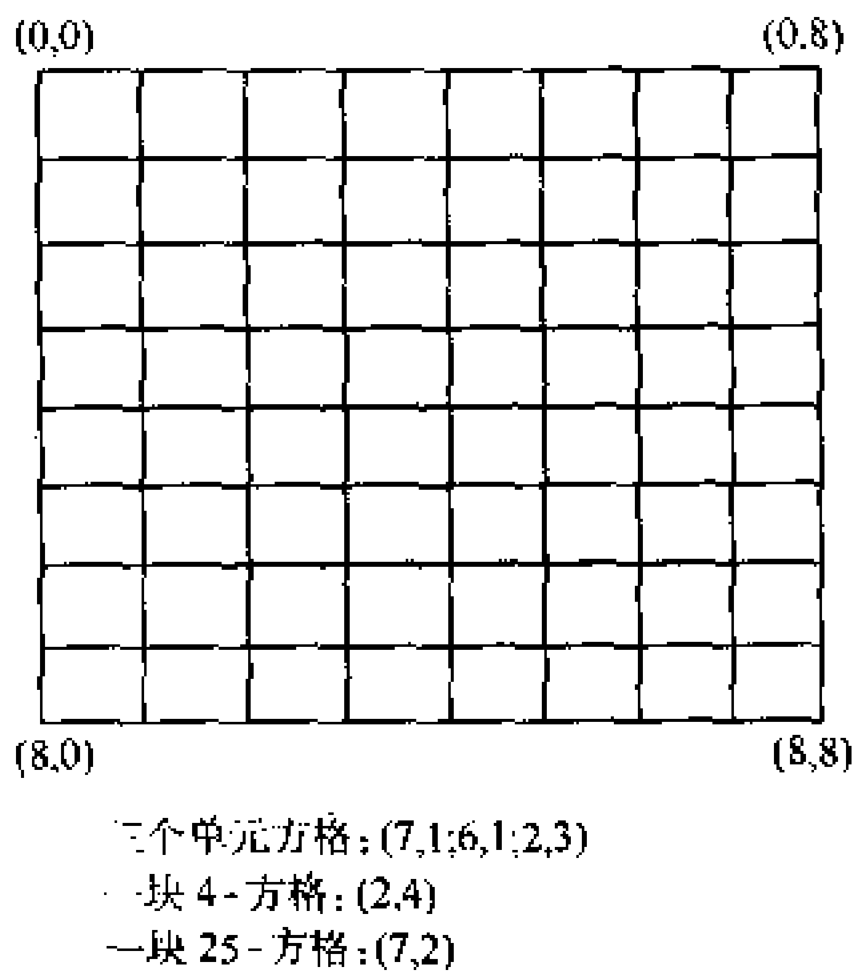


图 7.5　块码法用方块来编码。图中的区域被分为三个单位方块、一个4单位方块和一个25单位方块。每一方块以其左下角的坐标编码。坐标原点在格网的左上角。

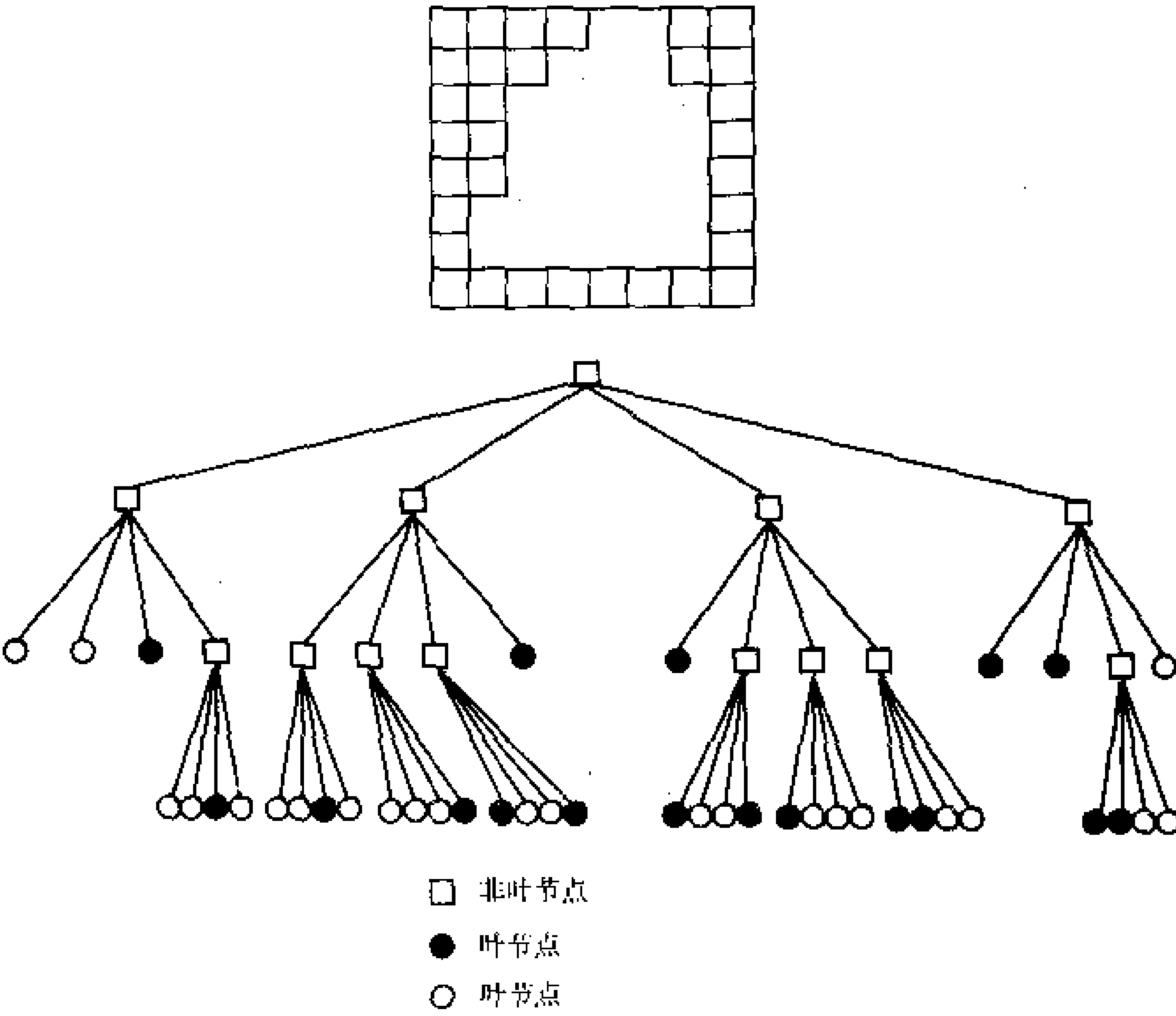


图 7.6　区域四叉树编码方法将格网分成象限层次。这种划分一直到象限由同一值的单元组成为止。不能续分的象限称为叶节点。

7.4.2　数据压缩

数据压缩指栅格数据量的减少，这是与数据结构密切相关的话题。用游程编码方法存

储的栅格数据文件称为游程压缩(RLC)文件,因为这种分组存储方法节省了计算机资源。一幅7.5分标准图幅土壤图的二进制扫描文件(300dpi)可达8MB以上。当用游程编码方法编码,同一文件以10:1压缩比可减小为800 000字节。一些栅格文件如DEM和卫星影像很难压缩,因为它们的值是连续变化的。

图形文件如TIFF、GIF、JPEG文件可用各种图像压缩算法作均称压缩。TIFF与GIF文件用**无损压缩**,使原图像被精确重构,而JPEG是采用**有损压缩**,它可达很大的压缩比但不能完整重构原图像。经有损压缩的图像退化可导致出现斑块状。USGS的数字正射影像常以四分之一图幅发布,因为即使四分之一的数字正射影像也有45~50MB大小。因此数据压缩对于图像文件的共享很有用处。

MrSID(多分辨率无缝图像数据库)是一项最初由洛斯阿拉莫斯(Los Alamos)国家实验室开发后来授予LizardTech公司(http://www.lizardtech.com/)的压缩技术。多分辨率意味着MrSID有以不同分辨率或比例尺恢复图像数据的能力。无缝意味着MrSID可压缩大图像(如含亚区的数字正射影像),并可在压缩过程中消除人为区域边界。MrSID设想图像中的细节水平不恒定,因而以高分辨率对精细部分编码,以低分辨率对较粗略部分编码。

数据压缩程序(如微机上用的PKZip和WinZip,UNIX环境用的gunzip,均可对各种数据文件作处理。以二进制扫描文件为例,PKZip和WinZip可达到极高的压缩比。例如,100MB以上的二进制扫描文件压缩后可存于1.44MB的软盘。

7.4.3 栅格数据文件

为导入要用的栅格数据,GIS软件包必须有数据结构和压缩方法(可用的话)的信息。此类信息通常包含在头文件中,头文件的功能类似于元数据。例如,卫星影像的头文件(常以.hdr为扩展名)包含了有关影像数据的信息,如数据结构方法、行列数、光谱波段数、每个波段每一像元的比特数。卫星影像可能有两个文件与之伴随。统计文件(常以.stx为扩展名)记述影像中每一光谱波段的统计信息,如最大值、最小值、平均值、标准偏差;色彩文件(常以.clr为扩展名)将颜色与影像中不同的像元值联系起来。

栅格数据在GIS软件包中组成许多不同的文件。例如,每个Arc/Info格网有其独立的目录,其中至少包括6个文件。前三个文件描述格网的面积范围、格网值的有关统计数据、单元值和相同单元值的单元数(就整型格网而言)。另三个文件中,头文件存储有关格网单元大小的信息、分区因素和压缩技术。另两个文件存储有关格网中第一片的数据和空间检索信息。

7.5 栅格数据的投影与几何变换

地图投影与几何变换对于栅格数据和矢量数据同样重要。栅格数据(如卫星影像和数字高程模型)若没有与矢量数据(如GIS数据库中的道路、河流及其他地图要素)投影到同一坐标系中,它们则无法在空间上配准。

投影过的栅格数据仍是基于行与列,但是行与列是以现实世界坐标来量测的。例如,

高程格网可定义如下：

(1) 行：463，列：318，格网单元大小：30m；

(2) 左下角 UTM 坐标：499995，5177175；

(3) 右上角 UTM 坐标：509535，5191065。

行列数可源于该格网 UTM 坐标的范围和格网单元大小[即 463 =(5191065 − 5177175)/30 和 318 =(509535 − 499995)/30]。我们也可以导出定义每个格网单元的 UTM 坐标。例如，第一行第一列格网单元的 UTM 坐标是：左下角(499995，5191035)，右上角(500025，5191065)。

卫星影像的几何变换在图像处理中常称做**地理坐标参照**(Verbyla 等 1997，Lillsand 等 2000)。地理坐标参照的两种常用方法是仿射变换(affine transformation)和多项式方程(polynomial equations)。仿射变换通过旋转、移动和比例变换(scaling)对图像作地理坐标参照。例如，旋转调整可纠正东北向而非正北向的卫星影像，因为卫星轨道是从东北向西南方向。影像数据的仿射变换所用的变换方程与用于矢量数据的相同：

$$x' = Ax + By + C \tag{7.1}$$

$$y' = Dx + Ey + F \tag{7.2}$$

所不同的是：① x 与 y 代表列数与行数。② 系数 E 是负的，因为影像与坐标系统的不同原点。然而，影像数据的变换还需要选择控制点的工作。因为控制点(又称**地面控制点**)不是影像的一部分，必须取自其他来源。最为理想的是，控制点为那些在卫星影像由单个格网单元所清晰显示的要素。例如，控制点可选在道路交叉处、岩石露头处、小池塘或海岸线沿岸的独特特征处。当控制点识别出来后，其现实世界坐标便可从数字地图或 GPS 读数获取。

因为地面控制点是由用户选择的，且可能有解译错误，因此卫星影像的仿射变换往往是一个反复的过程。仿射变换由最初一套控制点开始运行，检查其均方根误差。如果均方根误差超出所要求的容限值(例如，一个像元)，则对均方根误差贡献最大的控制点被删除，输入另一套控制点作下一次仿射变换。重复这一过程直至均方根误差达到要求。

仿射变换之后必须创建一个文件来存储六个系数，依序为 A、B、C、D、E、F。例如，ArcView 与 Arc/Info 用一个世界文件(world file)，它是 ASCII 码文件，扩展名有一个字母是 w 以便于识别。用世界文件(例如，tmrect.biw)，图像文件(例如，tmrect.bil)可被转换成现实世界坐标，并与矢量地图要素配准。

多项式方程用做地理坐标参照也被称为**拉伸**(warping)或橡皮板变换(rubber sheeting)。多项式方程为差异比例变换和图像旋转提供了数学模型。模型的复杂程度由多项式的阶来表达，其范围从 2 到 5。例如，二阶多项式用下列方程来转换：

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \tag{7.3}$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \tag{7.4}$$

可使影像数据与栅格数据综合的 GIS 软件包一般能完成几何变换。例如，ArcView 有 Warp Environment 扩展模块，让用户从要素专题中选择控制点并用这些控制点来进行几何变换。

地图投影、重投影(re-projection)或几何变换产生了新格网。因而就有必要通过**重采样**(resampling)，用原格网中的单元值填进新格网中的每个单元。用于填充新栅格格网的

三种常见重采样方法是：最近邻(nearest neighbor)、双线性内插(bilinear interpolation)和三次卷积(cubic convolution)(图7.7)。

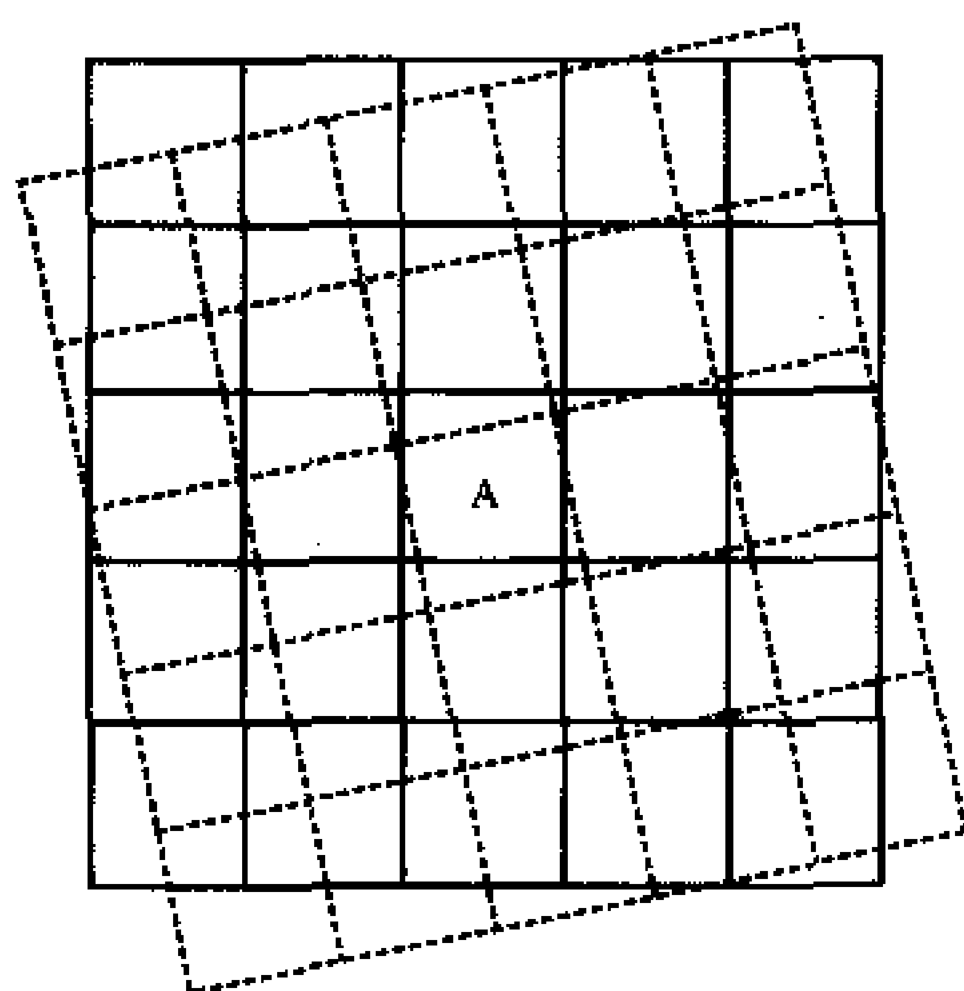


图7.7　实线格网是由虚线格网转换而来的新格网。需要用重采样来给新格网中的每一个单元赋值，如单元A。

最近邻法用原格网中最近的单元值填入新格网每个单元中。**双线性内插法**用原格网中四个最邻近单元的加权平均值填入新网格的每一单元中。**三次卷积法**用原网格中16个最邻近单元的加权平均值填入新网格的每一单元中。最近邻法主要用于类别型数据(如土地覆被类型等)，因为该方法不改变格网单元值。以上三种方法都可用于连续数据(如高程或卫星影像)。经重采样输出的总体平滑度从最近邻法到双线性内插法再到三次卷积法依序递增，但要以耗费处理时间为代价。

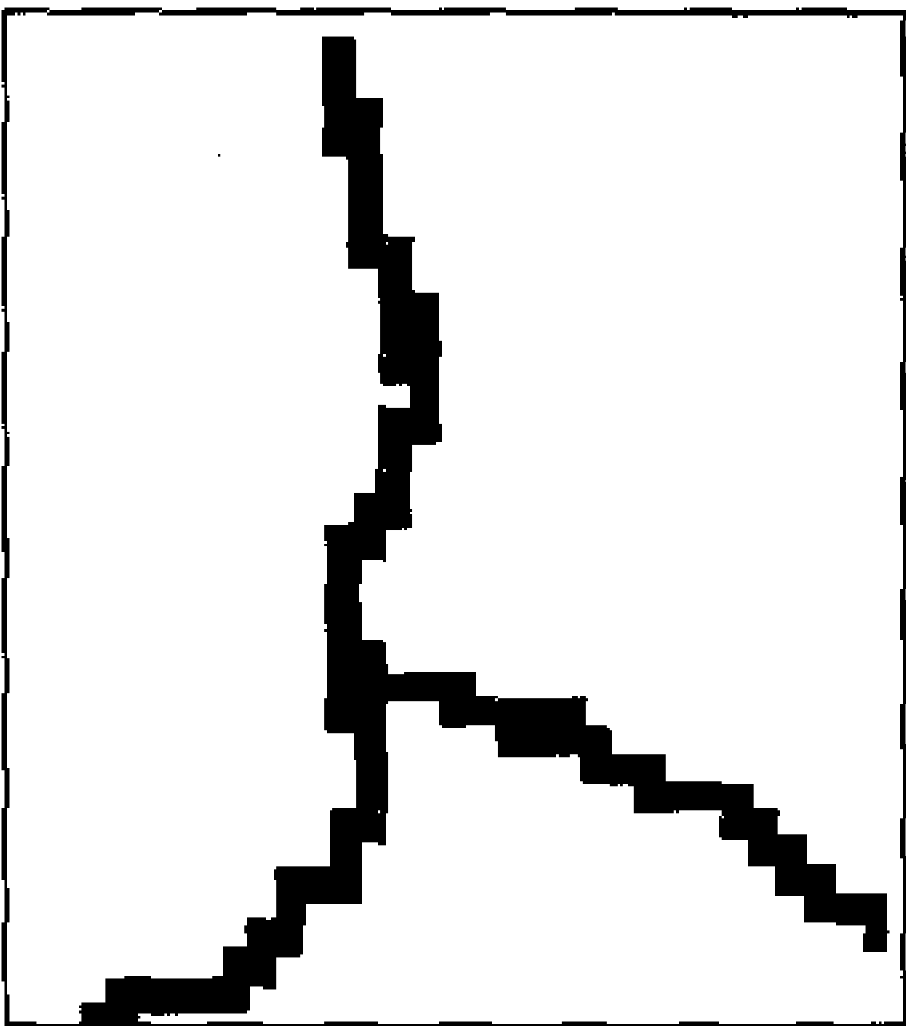
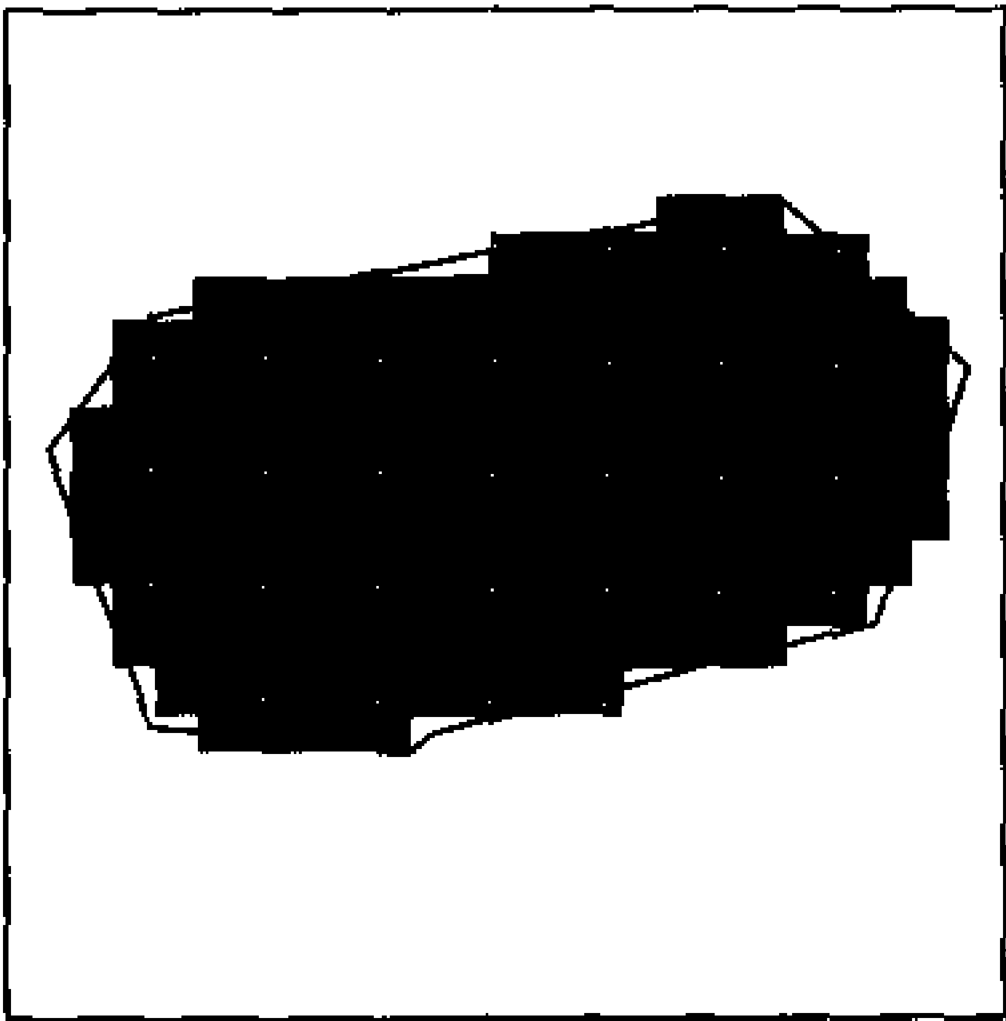
7.6　数据转换

矢量数据转换为栅格数据(如多边形图层转换成格网)称为**栅格化**；而栅格数据转换成矢量数据(如格网转成多边形图层)则称为**矢量化**(图7.8)。两种转换均需用计算机算法(Piwowan等　1990)。

栅格化一般比矢量化更简单，它包括三个基本步骤(Clark　1995)。第一步是建立一个指定单元大小的格网，该格网能覆盖整个图层的面积范围，并将所有格网单元的初始值赋予0。第二步是改变那些对应于点、线或多边形界线的格网单元的值。对于点的格网单元赋予点值，对于线的格网单元赋予为线值，对于多边形界线的格网单元赋予多边形值。第三步是用多边形值来填充多边形轮廓线的内部。源自栅格化的误差取决于计算机算法和栅格单元的大小(Bregtet等　1991)。

第4章已把矢量化作为空间数据输入的扫描方法的一部分介绍过。简而言之，该过程包括以下步骤：栅格线的细化(thinning)、矢量线提取、拓扑关系重建点和线的平滑。

大多数GIS软件包具有矢量与栅格数据之间相互转换的功能。例如ARC/INFO，有POLYGRID命令将多边形图层转换成格网，有GRIDPOLY命令将格网转换成多边形图

栅格化　　　　　　　　　　　　矢量化

图 7.8　左图为从矢量到栅格数据转换的例子，即栅格化。
右图为从栅格到矢量数据转换的例子，即矢量化。

层。对于点和线也有类似命令。ArcView 有菜单选项用于转换成 shapefile 和转换成格网的。

7.7　栅格数据与矢量数据的综合

GIS 中栅格数据与矢量数据的综合可发生在数据显示、数据处理、数据转换或数据分析中，取决于栅格数据的类型。数字高程模型是输入数据，它必须经处理才能提取地形特征，如等高线、坡度、坡向、河网、分水岭(Jenson 等　1988，Band　1993，Dymond 等　1995)。数字高程模型可以其栅格格式或以不规则三角网(TIN)来处理(参见第 12 章)。

数字正射影像(DOQ)、数字栅格图(DRG)和图形文件本质上是图片。它们作为数据显示背景或作为空间数据输入或修改源很有用处(注释栏 7.3)。但它们不能像数字高程模型或二进制扫描文件那样用于数据处理。二进制扫描文件可用于屏幕追踪与数字化(参见第 4 章)。

矢量数据与遥感影像的链接

ArcView 中的热链接可将矢量格式的点、线、面与影像链接。要素属性表中一个名为"link to"(链接到)的字段可以指导计算机寻找链接到要素的影像。例如，可建立一幅显示出售房屋的地图，当表示房屋的点被点击时，便打开一张以图形文件存储的该房屋的照片。

卫星影像的情况与其他栅格数据有所不同。卫星影像是图片(这点象数字正射影像)，但它们提供了多波段的适时数据。当用做图片时，地理坐标参照的卫星影像可与其他空间要素一起显示。当用做图像处理时，卫星影像可以生成诸如土地覆被、植被、城市化、积雪、环境退化等地图(Mesev 等　1995，Hinton　1996)。从卫星影像处理生成的地图可保持栅格格式，也可转成矢量格式。

矢量数据与遥感数据之间的综合已有很长历史，文献积累也很多（Ehlers 等　1989，Ehlers 等　1991，Wilkinson　1996，Hinton　1996）。遥感数据在土地利用/覆盖、环境状况地图的创建和修订方面使 GIS 用户获益不浅。同样，矢量数据可提供影像处理方面的辅助信息。影像分层是一个很好的例子。该方法用 GIS 数据将景观分成不同特征地区或不同海拔地带，然后分别对这些地区或地带作图像处理和分类。另一个例子是将矢量数据用于为遥感数据的地理坐标参照选择控制点以及为地面实况选择样点。

GIS 与遥感数据可在不同层次上结合（Ehlers 等　1989）。在简单层次上，GIS 与遥感驻存于两个独立软件包中，它们之间的链接通过数据交换来实现。在第二层次上，GIS 与遥感软件包仍独立存在，但享有共同用户界面，能同时显示。最高层次是完全综合：GIS 与遥感存在于同一个软件中，能结合起来处理。当前的数据综合状况接近第二层次。大多数 GIS 软件包允许同时显示栅格数据与矢量数据，并用共同用户界面来存取遥感和 GIS 数据。但如果矢量数据和栅格数据都需要作分析，则必须先作数据转换。

重要概念与术语

ARC/INFO 的格网：ESRI 独有的栅格数据格式。

AVHRR（高级甚高分辨率辐射计）扫描仪：以 1km 空间分辨率提供大范围土地覆被数据的气象卫星。

重采样：用原格网中相应单元的值来填充新格网每个单元的过程。

地理坐标参照：用一套控制点将影像由影像坐标转换为现实世界坐标的过程。

地面控制点：影像地理坐标参照中用的控制点。

二进制扫描文件：含 1 或 0 值的扫描文件。

浮点型网格：包含连续值单元的网格。

块码：用方形块来代表区域的栅格数据结构。

拉伸：用多项式方程对图像做地理坐标参照的过程。又称为橡皮板变换。

链代码：用一系列基本方向和格网单元来表示区域界线的栅格数据结构。

陆地卫星：提供地球表面重复影像的有轨卫星。陆地卫星 7 号于 1999 年 7 月发射。

三次卷积：一种重采样方法，用原网格中最邻近的 16 个单元的加权平均值来填充新格网中的每个单元。

栅格化：将矢量数据转换成栅格数据。

矢量化：将栅格数据转化成矢量数据。

数据压缩：数据量的减少，尤其用于栅格数据。

数字高程模型：一种栅格格式数字模型，是一系列等间距高程数据。

数字栅格图形：美国地质调查局的地形图的扫描图像。

数字正射影像：从航片或其他遥感数据制备而得的数字化影像，其中由照相机镜头倾斜和地形起伏引起的位移已被消除。

双线性内插法：一种重采样方法，用原格网中最邻近的四个单元的加权平均值来填充新格网的每个单元。

四叉树：一种栅格数据结构，将栅格模型分成象限层次。

SPOT：提供 10m 分辨率全色影像和 20m 分辨率多光谱影像的法国卫星。

无损压缩：可使原图像准确重构的一种数据压缩。

像元依序编码：通过行列矩阵来存储格网值的栅格数据结构。

游程编码：一种栅格数据结构，它用行和组来记录格网单元值。游程编码文件也称为游程压缩文件(RLC)。

有损压缩：可取得高压缩比，但不能完全重构原图像的一种数据压缩。

整型格网：格网单元值是整数的格网。

最近邻法：用原格网中最邻近单元值来填充新格网每个单元的一种重采样方法。

应用：栅格数据

本章应用部分让你用 ArcView 来查看两种栅格数据：数字高程模型与陆地卫星专题制图仪(LandSat TM)影像。ArcView 可运行要素数据、格网数据和影像数据。此外，ArcView 可导入美国地质调查局的数字高程模型等数据文件并把它们转换成格网。习作 1 与习作 3 都需要用到 Spatial Analyst(空间分析)扩展模块。

习作 1 在 ArcView 中看 USGS 数字高程模型数据

所需数据：filer.dem，美国地质调查局的 7.5 分数字高程模型。

1. 启动 ArcView，加载 Spatial Analyst 扩展模块。
2. 打开一个新视窗。从 File 下拉菜单中选择 Import Data Source。在随后的对话框中，选美国地质调查局的数字高程模型(USGS DEM)作为导入的文件类型，点击 OK。进到文件 filer.dem 所在的工作空间。双击 filer.dem。然后将输出格网存储为 filergrd，并将其加到视窗中。
3. 从 Theme 下拉菜单中选择 Properties。Theme Properties 对话框显示格网单元大小、行列数和面积范围(即左下角与右上角的坐标)，以及格网为整型或浮点型。
4. ArcView 用默认色彩方案和数据分类来显示 filergrd。你可通过打开 filergrd 的图例编辑器改变色彩和分类。

习作 2 在 ArcView 中看卫星影像

所需数据：tmrect.bil，由前五个波段组成的陆地卫星 TM 影像。

习作 2 让你看由前五个波段组成的陆地卫星 TM 影像。通过改变每一波段的颜色分配，你可改变影像的视觉效果。

1. 启动 ArcView。打开一个新视窗，并从视图下拉菜单中选择 Add Theme。数据源类型选影像数据源。双击 tmrect.bil 将其加到视窗中去。
2. 从 Theme 下拉菜单中选 Properties。Theme Properties 对话框显示了 tmrect.bil 的左下角与右上角的坐标。
3. 双击 tmrect.bil 打开其影像图例编辑器。影像图例编辑器包括了以下选项：单波段、多波段、红绿蓝颜色控制和影像处理按钮。
4. 首先，将红、绿、蓝分别赋予 3、2、1 波段。点击 Default 按钮，你将看到该影像为彩

色相片。

5. 接着，将红、绿、蓝分别赋予4、3、2波段。点击 Default 按钮，你将看到影像为彩红外相片。

习作3 从矢量到栅格的转换

所需数据：nwroads.shp 和 nwcounties.shp，显示太平洋西北地区主要公路与县份的 *shapefiles*。

如同本章所述，在一个 GIS 项目中矢量与栅格数据的综合经常需要两者之间的相互转换。在习作3中，你将把一个线状专题（nwroads.shp）和一个面状专题（nwcounties.shp）转换成格网。这两个专题都覆盖了爱达荷州、华盛顿州和俄勒冈州，兰勃特等角圆锥投影，以米为度量单位。

1. 启动 ArcView，加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视窗，将 nwroads.shp 和 nwcounties.shp 加到视窗中。从视图下拉菜单中选择 Properties，指定地图单位为米。
2. 当矢量专题被转化为格网时，矢量专题中的属性必须选为该格网的单元值。激活 nwroads.shp 并打开其专题表。字段 Rte_num1 显示公路编号，适可选为单元值。激活 nwcounties.shp 并打开其专题表。你将选用字段 Fips（联邦信息处理标准）代码作为该单元值。
3. 激活 nwroads.shp。从 Theme 下拉菜单中选择 Convert to Grid。在此次转换过程中你将需要处理几个对话框。在第一个对话框里，指定 nwroads_gd 作为 Grid Name 并指定存储路径。接着是 Conversion Extent 对话框，输入 Same as Nwroads.shp 作为 Output Grid Extent，输入 5000m 作为 Output Grid Cell Size。在 Conversion Field 对话框中，选取 Rte_num1。点击 OK 连接属性数据，并将该新格网加到视窗中。
4. 激活 nwcounties.shp，按如上同样步骤将其转化为格网。格网命名为 nwcounties_gd，指定 nwcounties.shp 为格网范围，指定 5000m 为格网大小，选 Fips 为转换字段。
5. 比较 nwroads.shp 与 nwroads-gd。在 nwroads_gd 中，由于公路用一系列 5000m×5000m 的格网单元表示，看起来呈斑块状。比较 nwcounties.shp 与 nwcounties_gd，你将看到由矢量转为栅格的同样效果。

参考文献

Band, L. E. 1993. *Extraction of Channel Networks and Topographic Parameters from Digital Elevation Data*. In Kirkby M. J. and Beven K. (eds.). *Channel Network Hydrology*. Chichester, New York: John Wiley & Sons, pp. 13—42.

Bregt, A. K., J. Denneboom, H. J. Gesink, and Y. Van Randen. 1991. Determination of Rasterizing Error: A Case Study with the Soil Map of the Netherlands. *International Journal of Geographical Information Systems* 5: 361-367.

Burrough, P. A., and R. A. McDonnell. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.

Chrisman , N. 1997. *Exploring Geographic Information Systems*. New York: John Wiley & Sons.

Clarke, K.C. 1995. *Analytical and Computer Cartography*. 2d ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Dymond , J.R. , R.C. Derose, and G.R. Harmsworth. 1995. Automated Mapping of Land Components from Digital Elevation Data. *Earth Surface Processes and Landforms* 20: 131—137.

Ehlers , M. , G. Edwards , and Y. Bedard. 1989. Integration of Remote Sensing with Geographical Information Systems: A Necessary Evolution. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 55 : 1619—1627.

Ehlers, M. , D. Greenlee, T. Smith, and T. Star. 1991. Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 57 : 669—675.

Hinton, J.E. 1996. GIS and Remote Sensing Integration for Environmental Applications. *International Journal of Geographical Information Systems* 10 : 877—890.

Jenson, S.K. , and J.O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographical Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 : 1593—1600.

Kumler, M.P. 1994. An Intensive Comparison of Triangulated Irregular Networks (TINs) and Digital Elevation Models (DEMs). *Cartographica* 31 (2) : 1—99.

Lillesand, T.M. , and R.W. Kiefer. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 4th ed . New York: John Wiley & Sons.

Mesev. T.V. , P.A. Longley, M. Batty, and Y. Xie. 1995. Morphology from Imagery—Detecting and Measuring the Density of Urban Land-use. *Environment and Planning A* 27 : 759—780.

Piwowar, J.M. , E.F. LeDraw, and D.J. Dudycha. 1990. Integration of Spatial Data in Vector and Raster Formats in A Geographic Information System Environment. *International Journal of Geographical Information Systems* 4 : 429—444.

Rosenfeld , A. 1980 . Tree Structures for Region Representation . In H. Freeman and G.G. Pieroni (eds.). *Map Data Processing*. New York: Academic Press, pp. 137—150.

Samet, H. 1990. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Tomlin, C.D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall.

Verbyla, D.L. , and Chang, K. 1997. *Processing Digital Images in GIS*. Santa Fe, NM: OnWord Press.

Wilkinson, G.G. 1996. A Review of Current Issues in the Integration of GIS and Remote Sensing Data . *International Journal of Geographical Information Systems* 10 : 85—101.

Worboys, M.F. 1995. *GIS: A Computing Perspective*. London: Taylor & Francis.

第8章 数据显示与地图制图

8.1 引 言

地图是GIS的界面(Kraak 等 1996)。我们浏览、查询和分析地图。我们将查询和分析的结果以地图的形式打印出来并将它们用在演示和报告中。作为一个可视化的工具，地图在传递空间信息方面是最有效的，无论强调的重点是空间数据的位置还是空间数据的分布模式。

一幅地图包括图名、地图主体、图例、指北针、比例尺、文字说明和图廓(图 8.1)。这些要素共同作用将空间信息传递给读图者。地图主体是一幅地图最重要的部分，因为它包含了地图信息。地图的其他要素支撑了地图信息的传递过程。例如，图名蕴含了地图主题，图例则将地图符号与空间数据联系起来。实际上，地图制作可以被描述为将地图要素组装起来的过程。

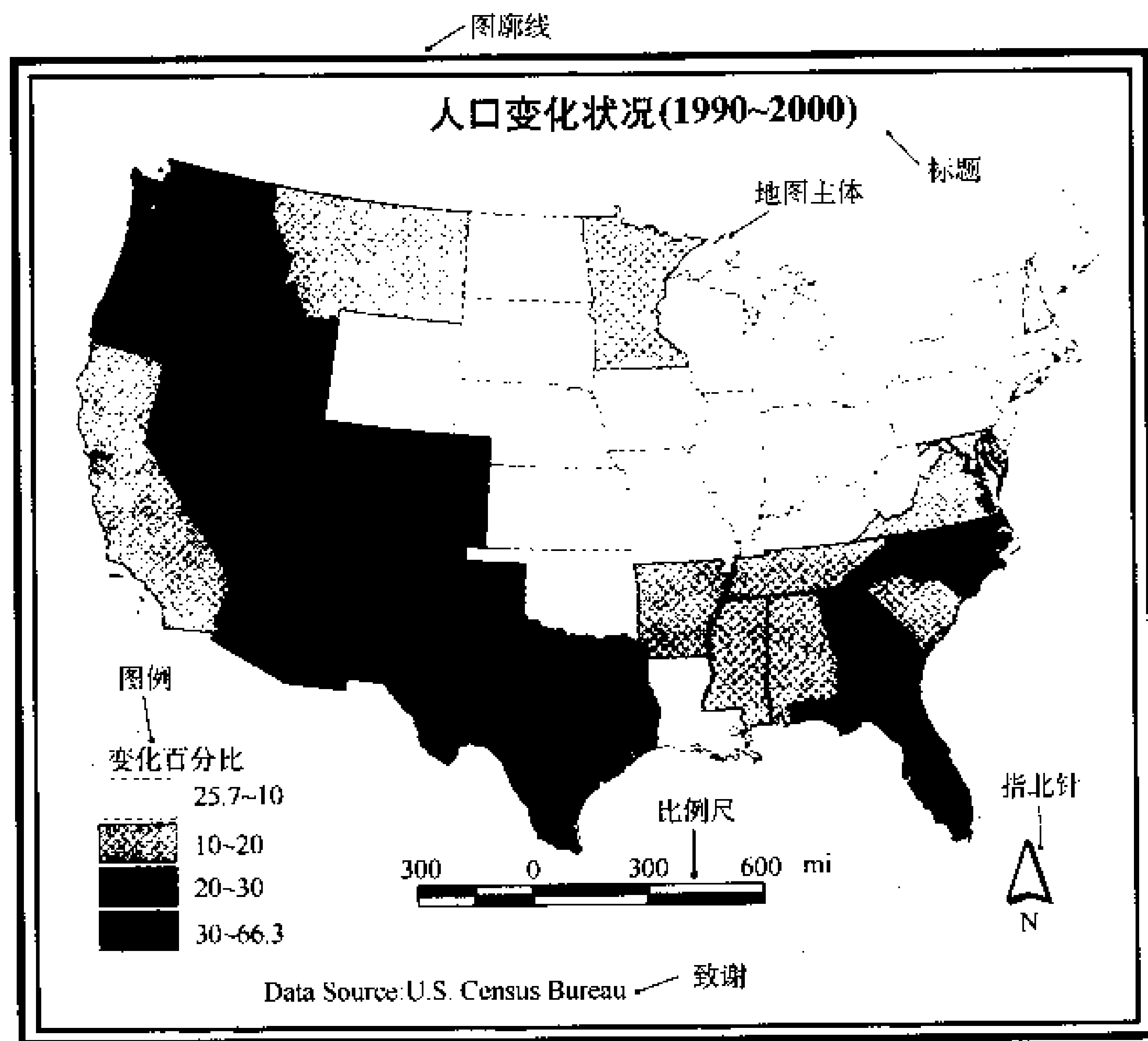


图 8.1 常见的地图要素。

地图制作应有清晰的地图设计思路作指导。设计良好的地图可以帮助制图者将空间信息传递给读图者，而设计粗劣的地图却有可能误导读图者甚至歪曲制图者想要传递的

信息。

数据显示是近年来商业GIS软件包获得较大进展的一个领域。基于Windows的GIS软件包在数据显示方面表现出色有两方面的原因。首先,制图者可以通过简单地点击图标来构建一幅地图。相比之下,命令驱动的GIS软件包要求用户在制作一幅地图之前先要熟悉许多命令。其次,基于Windows的GIS软件包在菜单中嵌入了常用的设计选项,从而使GIS用户无需再自行创建他们自己的选项。

本章分为五个部分。第一部分讨论地图的符号表达,包括数据-符号关系和色彩的运用。第二部分述及按地图符号划分的不同地图类型。第三部分概述了地图印制、注记类型的选择以及注记文字的摆放。第四部分涵盖了地图设计以及版面布局和视觉层次的设计要素。第五部分讨论了软拷贝地图与硬拷贝地图。本章以ArcView,(一个基于Windows的GIS软件包),作为范例。

8.2 地图符号系统

8.2.1 空间要素与地图符号

空间要素以其位置和属性为特征。为了在地图上表示某一空间要素,我们用地图符号来指示该要素的位置,并用该符号与一个或一组视觉变量的组合来显示该要素的属性数据。比如,用红色粗线代表州际公路,而用黑色细线代表州级公路。在此二例中,线状符号均表征了公路的位置,而线的宽度和色彩这两种视觉变量与线状符号一起,将州际公路和州级公路区分开来。

选择合适的地图符号和视觉变量是数据显示主要关注的一个方面(Robinson等1995, Dent 1999, Slocum 1999)。对栅格数据而言,地图符号的选择已经不是一个问题,因为无论被描述的空间要素是点、线或多边形,地图符号都由像元组成。然而,对矢量数据而言,常用的地图符号像要素类型分类一样,也分为点、线和面三组类型(图8.2)。从而,为矢量数据选择地图符号的通用法则如下:点状符号适用于点状要素,线状符号适用于线状要素,而面状符号适用于面状要素。

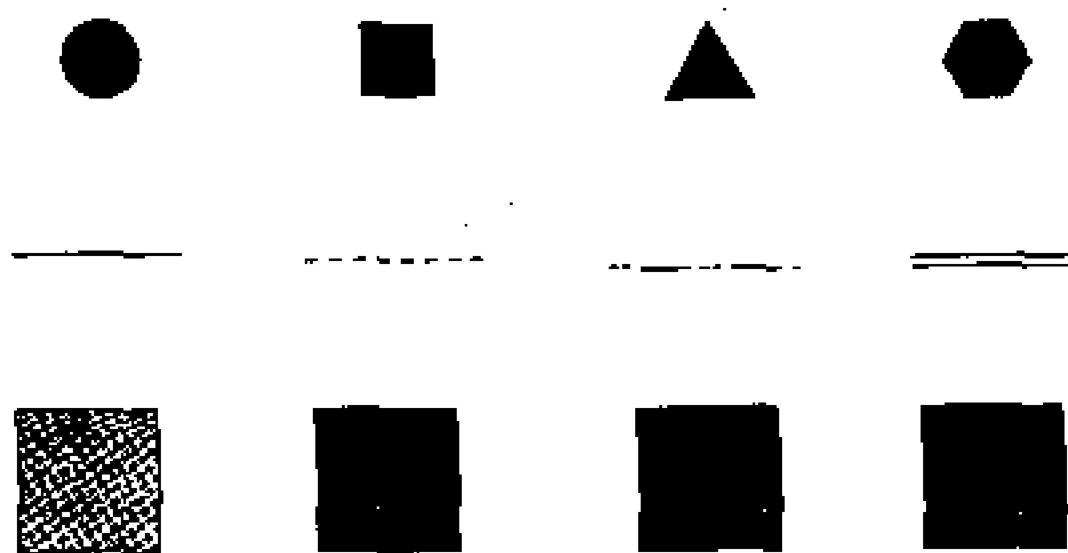


图8.2 地图符号种类。从上到下依次为:点状符号、线状符号和面状符号。

对于上述数据-符号法则也有例外。一个GIS项目通常会用到诸如高程、气温和降雨量等立体(volumetric)或三维(3-D)数据,然而却没有相应的立体符号,只得用点、线和面状符号表示这些立体数据。另一个常见的例外是用多边形标识点位置上的点状符号来显

示合计数据，如县或州的人口总数。

地图符号系统中的视觉变量包括形状(shape)、大小(size)、纹理(texture)、图案(pattern)、色相(hue)、色值(value)和彩度(chorma)(图 8.3)。色相、色值和彩度与色彩相关，将在下一节讨论。大小和纹理(符号斑纹的间距)表征了图上数据之间的数量差别。例如，一幅地图可用大小不同的圆圈来代表不同规模等级的城市。另一方面，图案(符号斑纹的类型)则更适合于表征标称(nominal)或定性(qualitative)数据。比如，一幅地图可用不同的面状图案代表不同的土地利用类型。

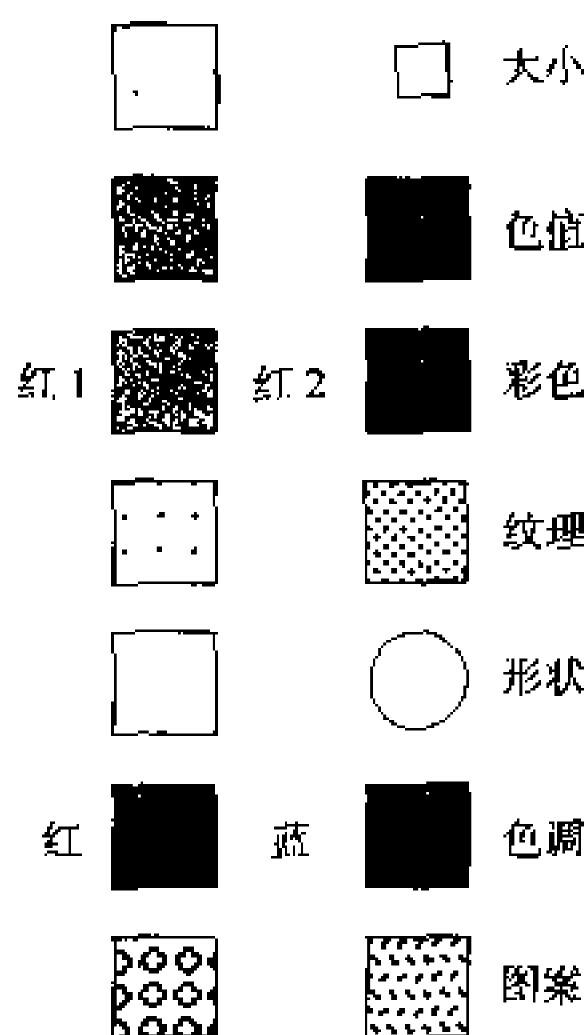


图 8.3　地图符号系统中的视觉变量。

ArcView 通过填充调色板(fill palette)、笔式调色板(pen palette)、标记调色板(marker palette)和颜色调色板(color palette)提供各种各样的图案和纹理以供选择。填充调色板有 50 种填充图案，笔式调色板有 28 种线状图案，而标记调色板有 50 种图标或符号。从上述 3 种调色板中选择之后，再从颜色调色板中(共有 60 种颜色)选择要赋予的颜色。

栅格数据的显示在视觉变量的选择上再次受到限制。由于栅格数据由像元组成，形状和大小这两个视觉变量并不适用于栅格数据。纹理和图案可用于低分辨率的栅格数据，但当像元非常小时会变得不适用。栅格数据也因此被局限于用不同的色彩或不同的色彩阴影来显示。

8.2.2　色彩的运用

由于色彩可为地图增添特殊的魅力，在条件允许的情况下，制图者通常都会首选制作彩色地图，其次才是黑白地图。但是，根据已发表的对计算机生成的地图的评论，色彩或许是被错用得最多的视觉变量(Monmonier　1996)。地图制作中色彩的运用首先必须理解色彩的三个属性，即色相(hue)、色值(value)和彩度(chroma)。

色相(hue)(又称色别)是一种色彩得以与另一种色彩相区别的性质，如红色与蓝色即为不同的色相。色相也可定义为组成一种颜色的光的主波长。我们倾向于将不同的色相与不同类型的数据联系起来。**色值**(value)是一种颜色的亮度或暗度，黑色为低值而白色为高值。在一幅地图上我们通常感到较暗的符号更重要(Robinson 等　1995)。**彩度**(chroma)，又称为饱和度或强度，指的是一种颜色的丰富程度或鲜明程度。完全饱和的颜色为纯色，而低饱和度的颜色则偏灰。通常，颜色饱和度越高的符号其视觉重要性也越大。

色彩运用的经验法则之一很简单：色相是适于表征定性数据的视觉变量，而色值与彩度则更适合于表征定量数据。定性数据属于标称数据(nominal data)，而定量数据则属于需用排序(ordinal)、区间(interval)和比率(ratio)等尺度来量度的数据。对一幅定性地图而言，找到 12 种或 15 种易于相互区别的颜色并不难。如果一幅地图需要更多种颜色，则可将另一种定性的视觉变量——图案，或者文字，与颜色组合在一起形成更多的地图符号。

多年来地图制图员为了表现定量数据提出了基于色相、色值和彩度的多种色彩方案(Cuff　1972，Antes 等　1990，Mersey　1990，Brewer　1994)。这些色彩方案的共同之处在于，通过选用色彩符号，读者可以更容易地感受到数值从低到高的渐变。

(1) 单色相方案。这是最简单或许也是最有效的表现定性数据的色彩方案。该方案采用单一色相而用不同色值和彩度的组合来生成一个系列的色彩方案。ArcView 提供了"红色"和"橙色"等单色方案。

(2) 双端色方案。本色彩方案采用两种主色的渐变色。例如，双端色方案可由深蓝到浅蓝然后再由浅红到深红。双端色方案适合于表现具有正、负值或者增加与减少的数据。ArcView 为这种色彩方案提供了"蓝色到红色"和"蓝色到橙色"等方案。

(3) 部分光谱方案。本色彩方案用可见光光谱中相邻的颜色来表示数量差异。在该色彩方案下，ArcView 提供了"黄色—橙色—红色"和"黄色—绿色—深蓝"等方案。

(4) 全光谱方案。本色彩方案采用了可见光光谱中的所有颜色。通常不推荐本方案用于定量数据的制图(高程和温度除外)。ArcView 有单独用于高程、温度和降雨量的色彩方案。

8.3　地图的种类

地图制图员按功能和符号系统将地图分类。按功能分，地图可被分为普通地图和专题地图。**普通地图**用于通用目的。美国地质调查局的标准地形图(quad map)可作为普通地图的一个例子，图上显示了多种空间要素，包括边界线、水文、交通、等高线、居民点和土地覆被等。**专题地图**也称为特殊用途地图，因为其主要目的是用于显示某一主题的分布模式，比如某个州以县为统计单位的人口密度分布。

地图制图员也按地图符号将地图(无论是定量地图还是定性地图)进行分类。地图制图中有许多种常见的定性地图(图 8.4)：

(1) **点描法地图**用统一的点状符号来显示空间数据，每一个符号代表了一个单位值(注释栏 8.1)。

(2) **分级彩色地图**用定量的色彩方案来显示空间数据的差异。地图制图员将等值区域图和分区密度图区分开来。**等值区域图**将基于行政单元(如县或州)的派生数据(如平均收入或人口密度)符号化(注释栏 8.2)。分区密度图并不按行政边界来分区，而是按统计数据和另外的信息来勾绘具有相同数值的区域(Robinson 等　1995)。

(3) **分级符号地图**用不同大小的符号如圆圈、方形或者三角形来代表数据的不同数量。对此类地图有两个重要问题：尺寸的范围和尺寸间的可辨别差异。这两点显然与地图上的类别数或分级符号数相关。

(4) **统计图表地图**以饼状图或柱状图为地图符号。饼状图是分级圆圈的一种变异，它可显示两套定量数据：圆圈大小可依某一数值(如一个县的人口)的大小比例而定，而圆内的分区则可用来显示该数值的构成，比如一个县人口的种族构成。柱状图则对于数据的并排比较很有用。

(5) **流量地图**(flow map)以不同宽度的线状符号来显示流量数据的不同数量。

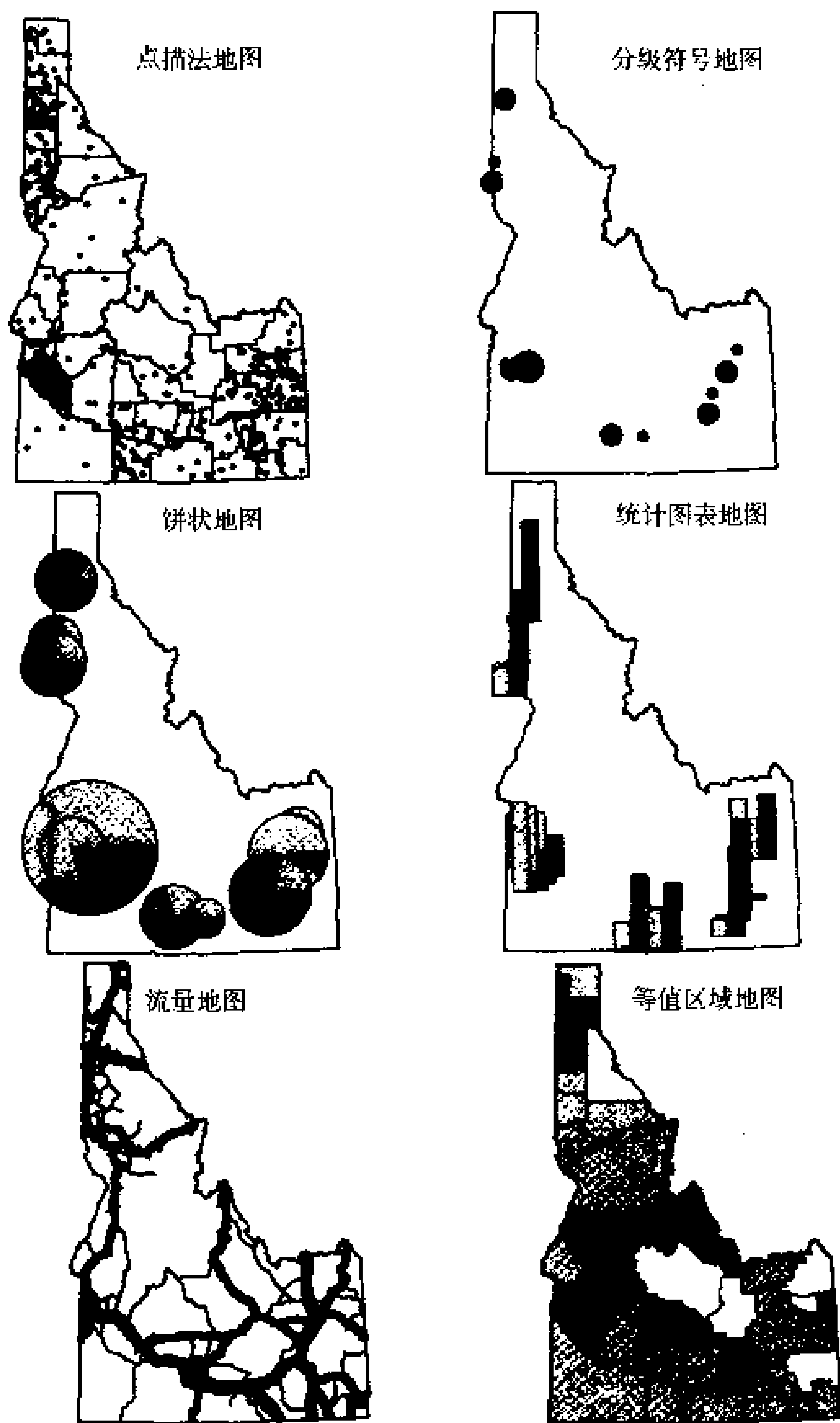


图 8.4　六种常见的定量地图。

点描法地图上点的定位

制作一幅点描法地图最困难的是点的定位。假设一个点代表 500 个人，某县人口数是 5000 人。这意味着该县在其界内应有 10 个点。接下的问题是这 10 个点该如何放置。最好是把点位置于城镇和乡村所在地，而不是置于无人居住区。然而，包括 ArcView 在内的大多数计算机制图软件包，是用随机方法来布点。随机方法可能会生成不符合实际情况的点描法地图。改善点描法地图精度的方法之一是在尽可能小的行政单元基础上来部署这些点。不直接在县的层次上布点，而参考人口普查街区组或人口普查街区地图及其人口统计数据来部署点位。

绝对值和派生值制图

地图制图员将数值分为派生值和绝对值(Chang 1978)。派生值是诸如县的人口密度一类的归一化数值,而绝对值是指诸如县的人口数一类的表示数量的数值或原始数据。县的人口密度是该县人口数除以该县面积而得,它不赖于县的大小。两个具有相同人口数和不同面积的县份,其人口密度不同。地图制图员建议用等值区域图(choropleth map)来进行派生值制图,而用分级符号图(graduated symbol map)来进行绝对值制图。如果等值区域图被用于绝对值制图如对县的人口数进行制图,则各县之间面积大小的差异可能会严重地影响地图的可比性(Monmonier 1996)。

GIS 引进的一种新的地图分类是按数据模型来进行分类。由矢量数据制成的地图与传统地图一样,采用的是点状、线状和面状符号。本章讨论的大部分内容适用于矢量数据的显示。由栅格数据制成的地图尽管看起来与传统地图相像,却是基于像元的。栅格数据可以是类别型的(categorical)数据(如植被类型),也可以是数值型的(*numeric*)数据(如高程数据)。因此,本节所阐述的适用于定性和定量地图的各种色彩方案,也可以分别用于绘制类别型栅格数据地图和数值型栅格数据地图。

8.4 地图注记

一幅地图若无文字或注记则无法被读懂。几乎每一种地图要素都需要有注记。制图者把字体当作一种地图符号,因为与点状、线状、面状符号一样,字体也有多种类型。运用不同的字体类型制作出悦目、和谐的地图是制图者所面临的一项主要挑战。

8.4.1 字体的变化

字体在字样(typeface)、字形(form)、大小(size)和颜色(color)方面变化多样(注释栏 8.3)。**字样**指的是字体的设计特征,而字形(type form)指的是字母形状方面的不同。字体可分为两组类型:带**修饰笔画**(serif,又称衬线)和**无修饰笔画**(sans serif)(图 8.5)。衬线是指字母线画末端的小的修饰性笔触,它们可使人们在阅读报纸或书籍上的连续文字时容易一些。与衬线字体相比,无修饰笔画字体显得更简单和粗壮。尽管很少被用于书籍或其他有大量文字的材料中,无修饰笔画字体(即使是在字较小的时候)在有复杂符号的地图上显得清晰可辨。在制图中,无修饰笔画字体的另一个优势在于其有较多的字体类型。

有关字体变化的术语

除了字体大小和字体颜色,字体变化并没有规范化术语。缺乏标准化可能使 GIS 用户在制图学教科书中寻求有关字体设计的帮助时感到比较混乱。同样是指字体的设计特征,Robinson 等人(1995)称之为 type style,Dent (1999) 和 ArcView 软件称之为 typeface,Slocum(1999)则称之为 font。字体笔画粗细(type weight)、字体宽度(type width)、大小写、直体和斜体则被统称为 type form(Robinson 等 1995)、letterforms(Dent 1999)和 type style(*Slocum 1999* 和 *ArcView*)。最后,*Dent*(1999)以及 *ArcView* 软件用术语 *font* 来指代一种字样设计和大小的全套字符。

字形包括了在**字体重量**或**笔画粗细**(粗体、常规或细长体)、**宽度**(窄体或宽体)、**直体**与斜体(或者罗马字体与斜体)、大写与小写等方面的不同变化(图8.6)。字体大小是用**点**(point)来量度一个字母的高度的,72个点为1in。打印的字母看起来会比它们用点量度时的尺寸要小一些。"点大小"(point size)是用"金属字体块"(metal type block)来量测的,量测的时候必须从下伸字母(如p或g)的最低点算到上伸字母(如d或b)的最高点为止。但是没有一个字母会恰好延伸到"金属字体块"的边缘。**字形集**(font)这一术语是指特定字样和大小的所有变体的完整集合。

Times New Roman

Tahoma

图8.5 Times New Roman是一种带修饰笔画(衬线)字体,而Tahoma是一种无修饰笔画字体。

Helvetica Normal

Helvetica Italic

Helvetica Bold

Helvetica Bold-Italic

Times Roman Normal

Times Roman Italic

Times Roman Bold

Times Roman Bold-Italic

图8.6 字体的笔划粗细和直体与斜体的变化。

8.4.2 字体变化的选择

字体变化可以像视觉变量一样在地图符号中起作用。字样、字体颜色、罗马字体或斜体等方面的差异更适合于表现定性数据,而字体大小、字体粗细和大小写等方面的差异则更适合于表现定量数据。例如,在一幅显示城市不同规模的地图上,一般是用大号、粗体和大写字体表示最大的城市,而用小号、细体和小写字体表示最小的城市。

地图制图员还建议在选择字体类型的时候要考虑可读性、协调性和传统习惯性(Dent 1999)。可读性较不容易掌握,因为它受到字样、字体大小、字母排列方式、字母间隔和注记与背景符号之间的对比等不同选择的影响。GIS用户在计算机屏幕上设计地图而在更大的绘图仪上打印地图时会碰到另外一些问题。因此GIS用户需要进行试验以确保地图各部分注记的可读性。

然而,注记的可读性必须与协调性相平衡。注记的功能就是传达地图内容。因此注记必须清晰可读但又不能吸引过多的注意力。制图者通常可以通过在一幅图上只选用1~2种字样,并选用另一些字体变化用于标注不同要素或符号来取得协调美观的效果(图

8.7)。例如,许多制图者在地图主体中用无修饰笔画的字体,而在图名和图例中则选用带修饰笔画的字体(Robinson 等 1995)。在字体选择上的传统习惯性包括:水体要素名称用斜体;行政单元名称(如州名和县名)用大写且字母间要留有空格;城市的名称按其规模等级而采用不同的字体大小和字形。

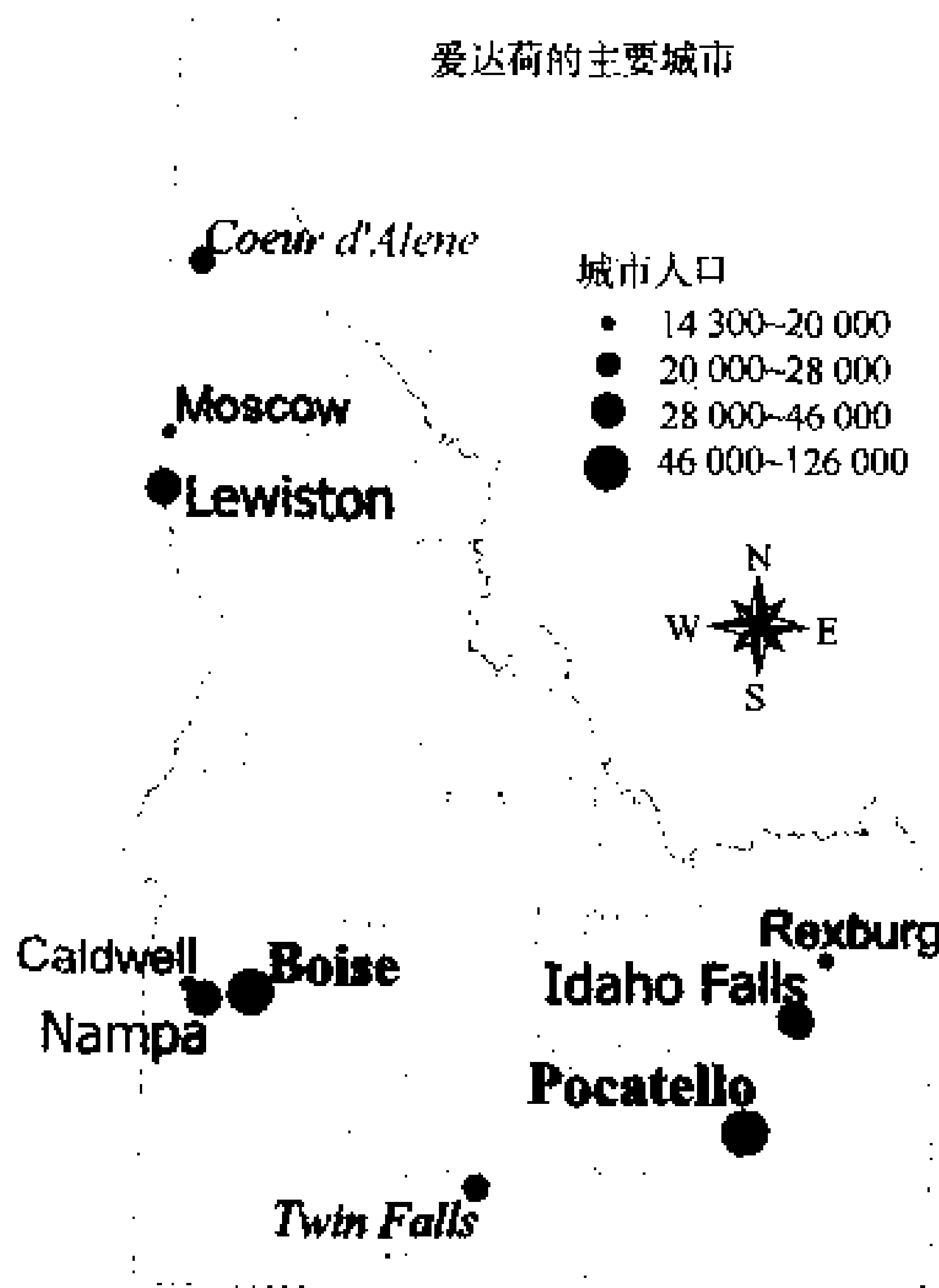


图 8.7 使用太多种字体导致整幅地图显得不协调。

大多数 GIS 用户不得不使用装在计算机上的由打印机制造商或其他软件包提供的字形集(font)。这些字形集用于文字处理、图解、图表和地图制图。ArcView 安装的字体(如 ESRI Geometric Symbols 和 ESRI Oil, Gas, & Water)不是文字字体(text fonts),它们实际上是点或标记符号。预先安装的字体中如 script-cursive 字体和 display-decorative 字体并不适用于制图。ArcView 用户可从其余的字体中选择足够的字体变化用于制图。如果字体仍不够,可以将其他字体导入 ArcView 使用。

8.4.3 文字注记的摆放

一幅地图上文字或标注的摆放与字体变化的选择同样重要。一条通用规则是:文字摆放的位置应能显示其所标识空间要素的位置和范围。制图者建议:点状要素的名称应放在其点状符号的右上方;线状要素的名称应以条块状与该要素走向平行;面状要素的名称应放在能指明其面积范围的地方。其他通用规则包括:名称的排列应与地图边框或纬线对齐,并将注记名称完全放置在陆地上或水体上。

GIS 软件包中标注算法的实现并不是一件易事(Mower 1993)。名称自动标识给计算机程序员们提出了许多难题:名称必须有可读性,且不能与其他名称或符号叠置;名称

必须清晰指示其所要指示的符号；名称的摆放方式也要遵循传统的制图习惯。这些问题在小比例尺地图上更加严重，因为在小比例尺地图上名称之间地图空间的竞争更加剧烈。

GIS 用户不应期望标注完全自动化。通常需要一些交互式的编辑以改善最后成果图的效果。基于此原因，GIS 软件包提供了不止一种的标注方法。例如，ArcView 就提供了 3 种标注方法。第一种方法是交互式输入文字，通过选择一个点位作为文字串的起点，再键入文字。这种方法对在地图上添加数据来源、致谢或者说明性文字很理想。

第二种方法是用一个指定字段值（如城市的名称）交互式地标注一个地图要素。标注的位置可以预先定义在地图要素的相对位置，如城市的名称一般放在城市符号的右上方。如果预先定义的位置效果不好，该标注可随后删除。

第三种方法，或许是大多数用户采用的方法，是用一个属性值自动标注全部（或选定的）要素。这种方法有两种选项。第一种是用预先定义的相对位置来标注所要标注的要素，然后用这个相对位置标注所有的要素。ArcView 提供了另一种选项称作“寻找最佳摆放位置”(Find Best Placement)，即用一种算法去评估所摆放的标注与其他标注之间的关系，然后再做出相应的调整。若地图要素太挤而导致标注相互重叠，则被压在下面的标注可以被删除或用不同颜色显示（图 8.8）。保持被叠置标注的一种方法是将其移到一个新的位置上（图 8.9），如果必要的话，可用一条指示线将其与地图要素相连（图 8.10）。

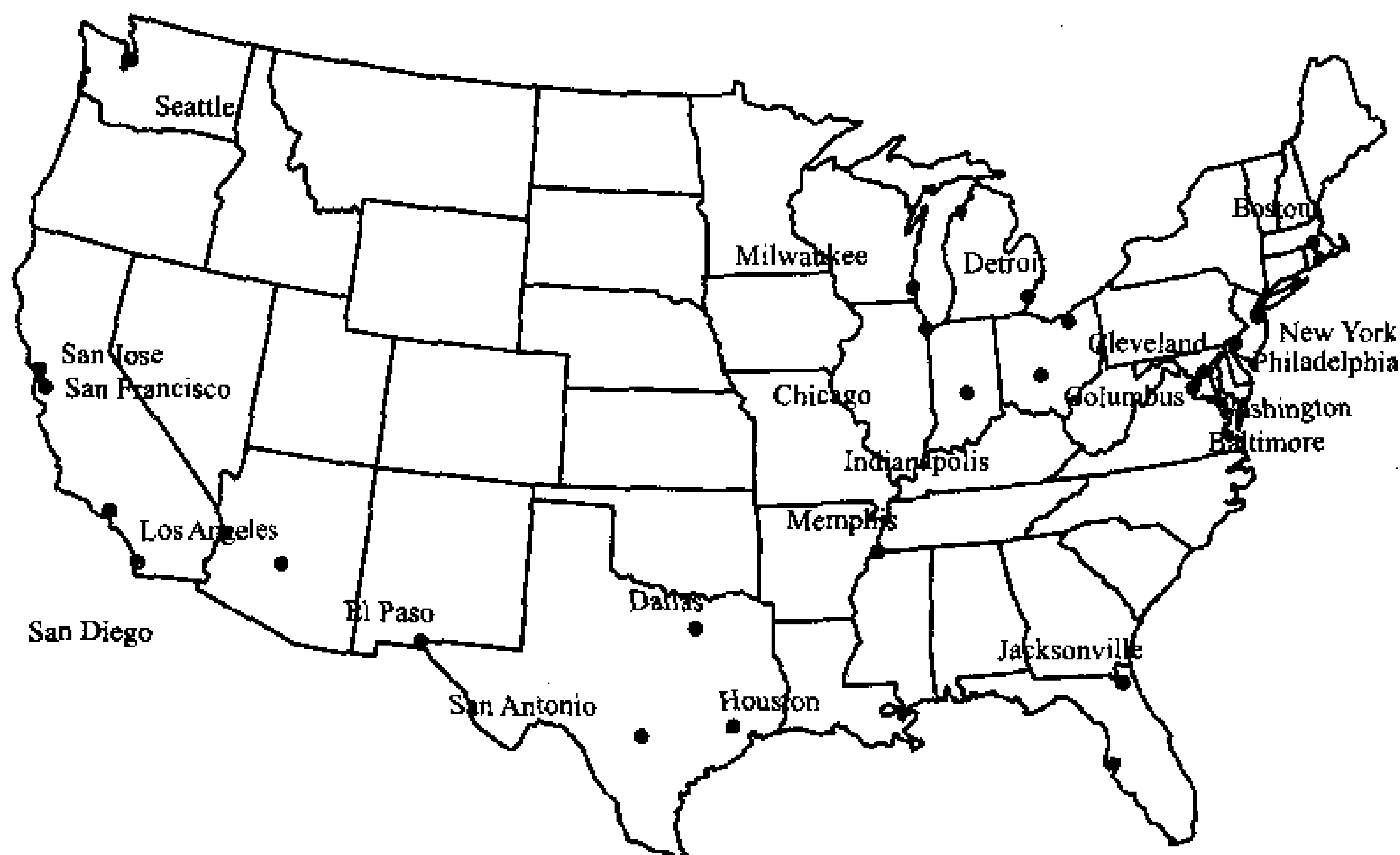


图 8.8　在 ArcView 中用 Find Best Placement 选项来标注美国的主要城市。结果通常不尽如人意。洛杉矶(Los Angeles)和菲尼克斯(Phoenix)的名称相互重叠。圣乔斯(San Jose)在旧金山(San Francisco)的北面。许多城市的名称远离其城市的点状符号，如西雅图(Seattle)和芝加哥(Chicago)。

或许标注过程中最艰巨的任务应属河流名称的标注。一般规则是河流的名称要沿着河流的走向，标注在河流的上方或下方。ArcView 中“Find Best Placement”选项能使河流名称顺着河流弯曲的方向而弯曲。但被弯曲了的河流名称的外观有赖于相应河段的光滑



图 8.9 图 8.8 修改后的版本。各个城市的名称被逐个地移到接近其点状符号的地方。

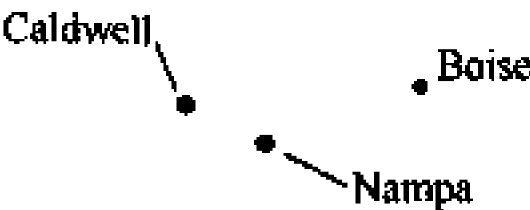


图 8.10 指示线将点状符号与其标注连接起来。

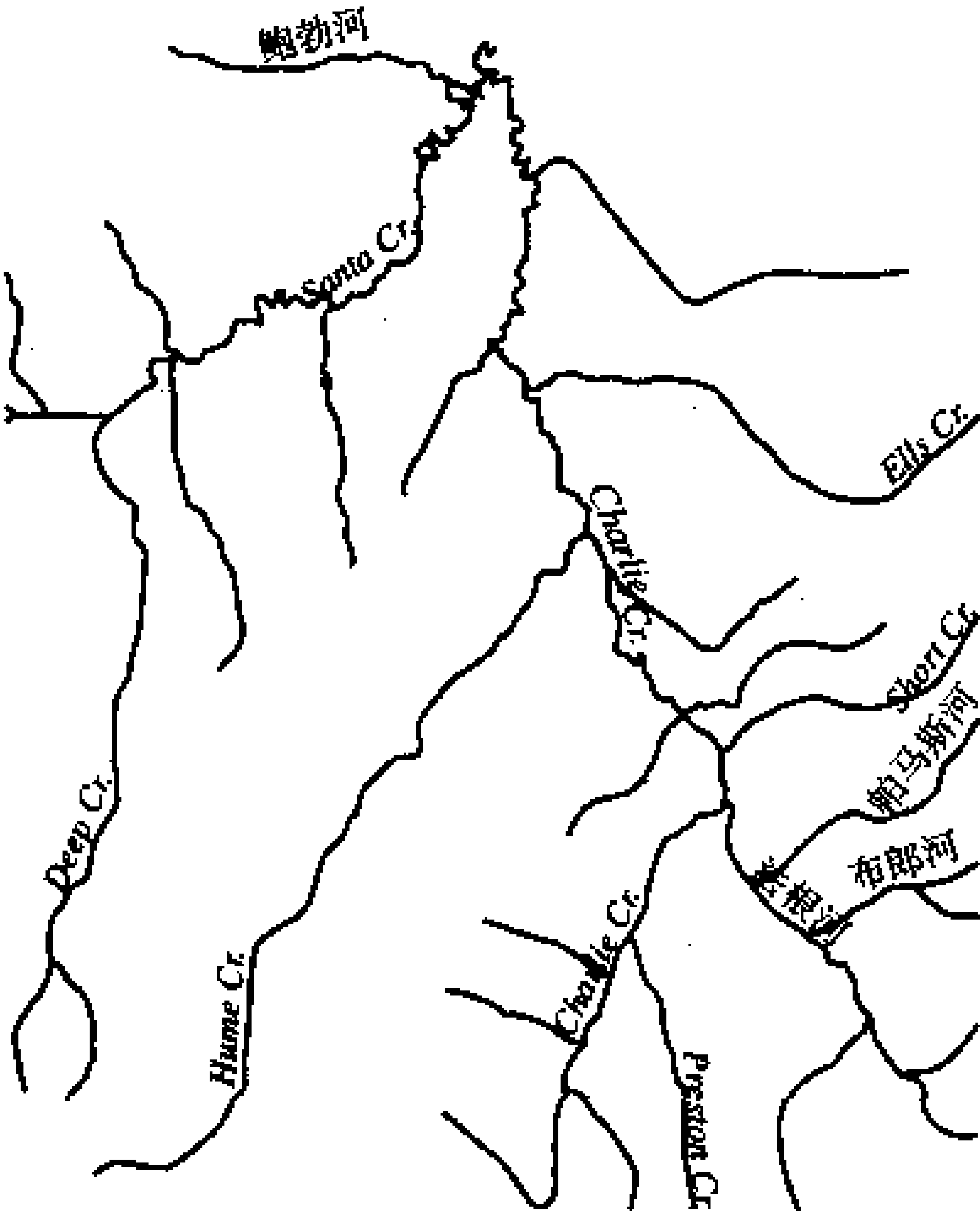


图 8.11 ArcView 中的 Find Best Placement 选项可能并不适于所有的注记。

程度和长度，以及河流名称的长度。一次就把所有的名称放在正确的位置上是几乎不可能的（图8.11）。有问题的名称必须删除并重新标注。ArcView 有一个**样条文字**（spline text）工具，可使文字串沿着屏幕数字化生成的曲线排列（图8.12）。

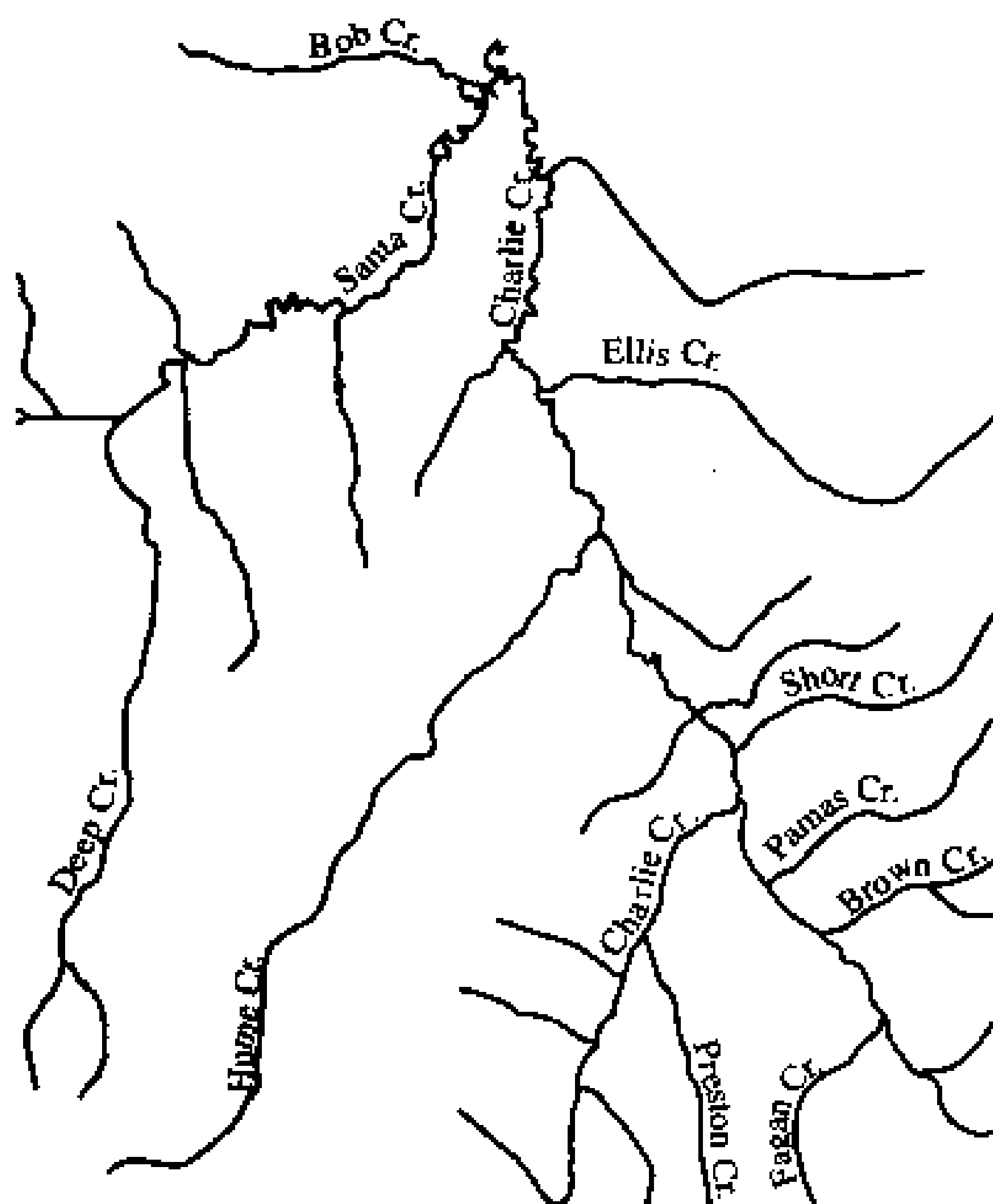


图8.12 在图8.11中有问题的注记用ArcView中的样条文字工具重新标注。

8.5 地图设计

像图形设计一样，**地图设计**是一种为达一定目标而进行的视觉设计。地图设计的目的是为了增强地图传递信息的功能，这一点对专题地图尤其重要。一幅设计良好的地图看起来应该是平衡的、一致的、有序的和令人感兴趣的，而一幅设计粗劣的地图则只会令人不知所云（Antes 等 1985）。地图设计与图形艺术领域有交迭，许多地图设计的原理起源于视觉感知。制图者通常从版面布局或平面结构和视觉层次的角度来研究地图设计。

8.5.1 版面布局

版面布局研究地图诸要素如地图主体、图名、图例、比例尺和指北针等的排列与组合。版面布局关注的主要方面包括焦点、先后顺序和平衡问题。一幅地图，特别是专题地图，必须有清晰的焦点，它通常是地图主体或地图主体的一部分。为了吸引读图者的注意力，焦点要素应放置在地图光学中心的附近，即地图几何中心偏上一点。焦点要素应在线划、纹理、数值、细节和颜色的对比上与其他地图要素有所区别。

在看过焦点要素以后，读图者应能将按一定次序转向地图的其他部分。例如，图例和图名有可能是随地图主体之后读者要看的部分。为使这一转移过程流畅，制图者应清楚地将图例与图名摆放在地图上，或许甚至可以用方框将它们框起来以便引起读者的注意（图8.13）。

一幅完成的地图看起来应该是平衡的。它不应该给读图者以头重、脚重或两边重的印象(图 8.14)。然而,平衡并不意味着拆散地图要素而将它们几乎机械性地摆放在地图的每一个部分。尽管那样各地图要素的分布也能达到某种平衡,但地图会变得无序和令人费解。因此制图者应处理好地图组织与地图信息传递之间的平衡问题。

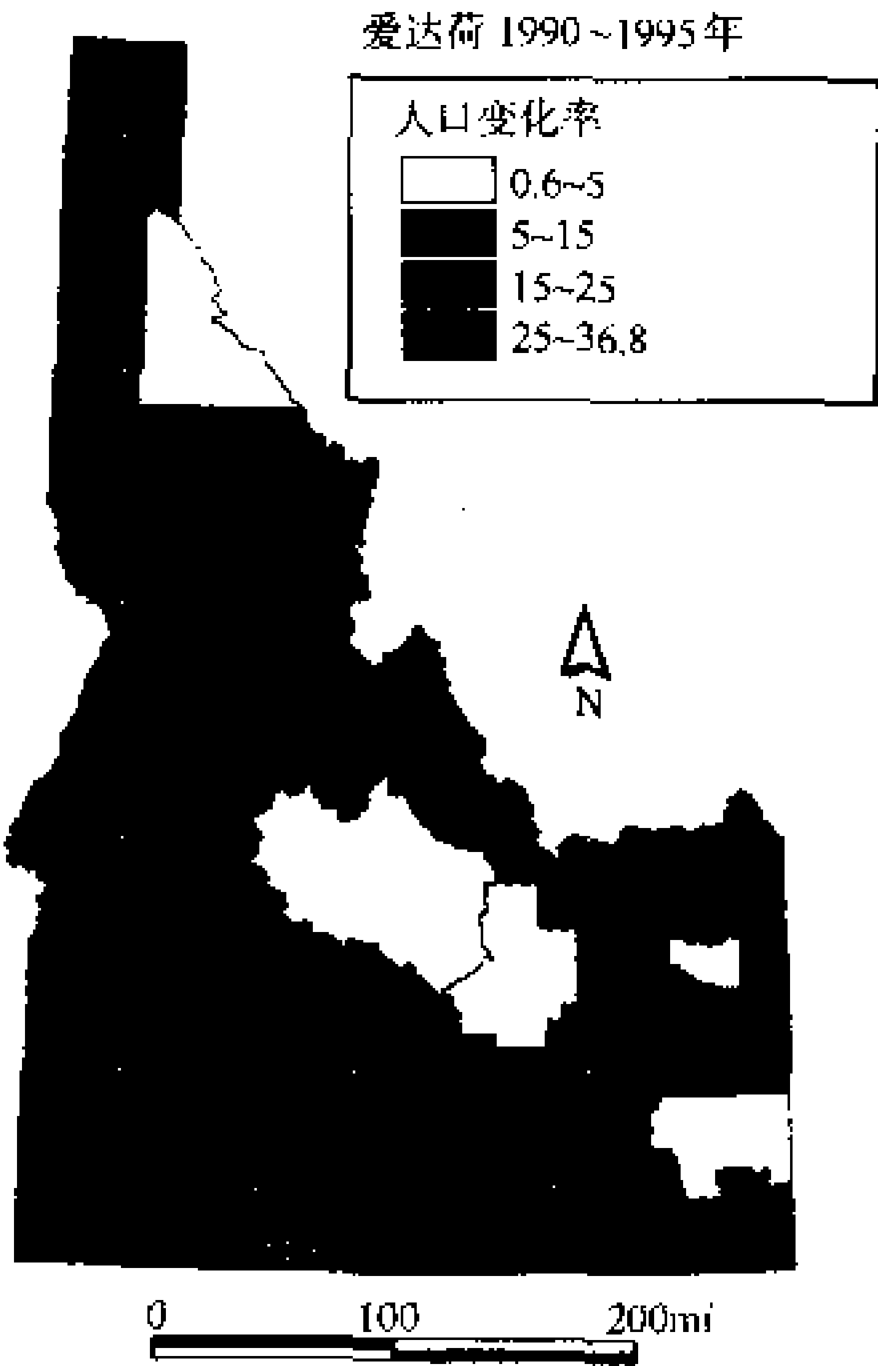


图 8.13 在图例周围画一个方框以吸引读图者的注意。

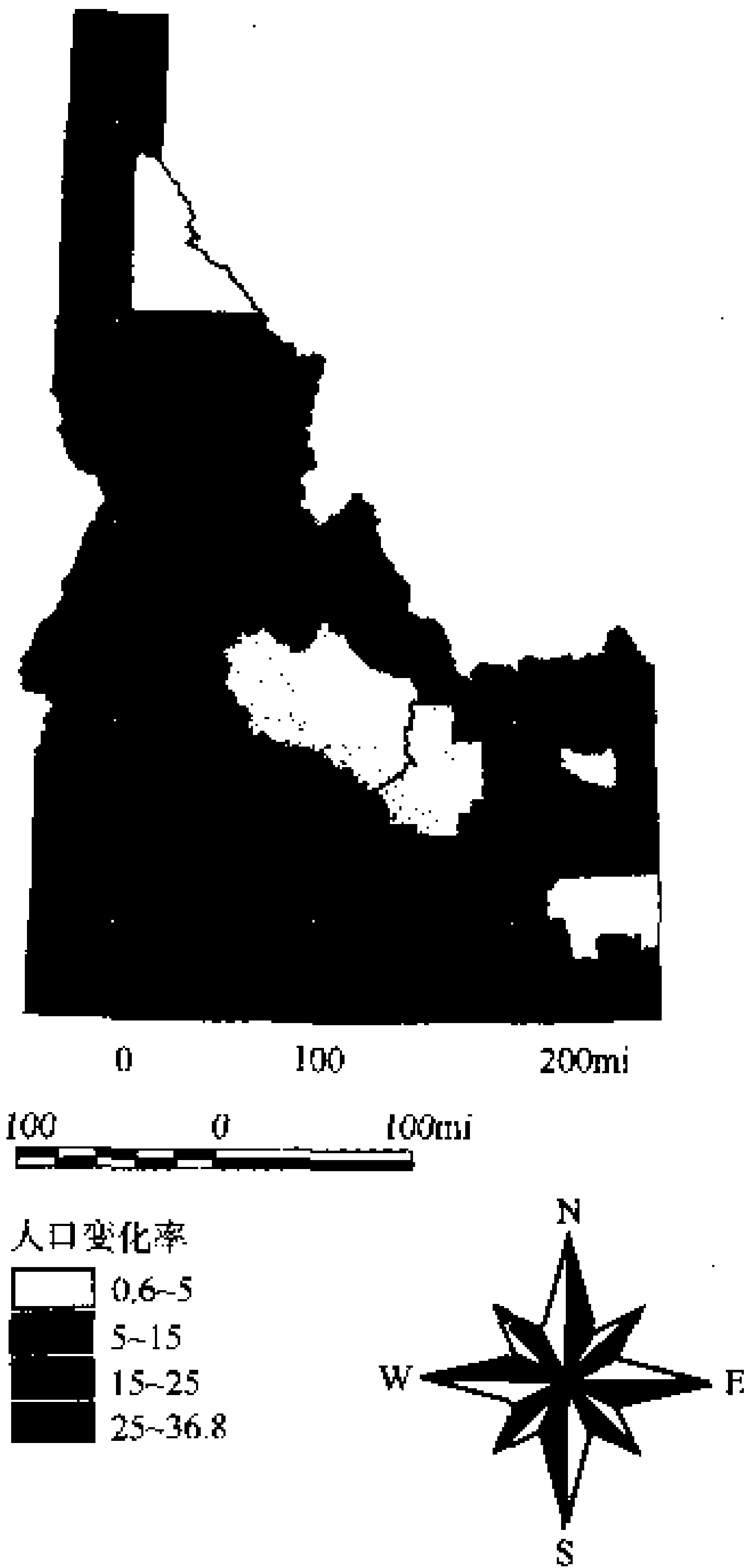


图 8.14 一幅平衡较差的地图。

地图制图员过去习惯于用缩略图来试验一幅地图的平衡问题。现在他们用计算机在一个版面页上对图形元素进行操作。ArcView 有两种版面形式可供选择。第一种是打开一个新的版面并将空的框幅(frames 或者 containers)放入以便摆放地图主体、图例、图名和其他地图要素。这个版面就像是一个电子缩略图一样,因为每个框幅可被移动、缩小或者放大(图 8.15)。当此版面设计完成以后,它可与视图链接以填入框幅的内容。本选项在制作一系列外观相似的地图时尤其有用。

第二种选项是直接将版面与视图链接。ArcView 提供 5 种版面模板:横向(landscape)、纵向(portrait)、横向且带内插方框(landscape with inset)、纵向且带内图廓线(portrait with neat lines)和横向且带内图廓线(landscape with neat lines)。选定模板后,ArcView 会将视图连同其图名、图例、比例尺和指北针显示在版面中。如同在第一种

选项中一样，ArcView 允许用户在初始版面上对各个地图要素进行操作。

版面中的图例包括了对视图中所有主题的描述。作为默认值，这些描述被作为单独的图形要素放置在一起，从而显得主题繁多而且冗长。一个冗长的图例显示出版面设计中存在问题，对此解决的办法是调用 ArcView 内置的简化(simplify)与组合(group)功能。简化可以将冗长的图例分解为图形元素，而组合能将这些图形元素结合成若干较小的图例。在版面中操纵和重新排列这些较小图例会更容易一些(图 8.16)。由于会将地图主体分解为一系列的点、线、矩形和文字图形，简化功能不能用于地图主体。一旦被简化，地图主体将无法恢复到它的原来状态，且它与图例的链接也会丢失。如果地图主体中的地图符号需要修改，它们应在视图中而不是在版面中被修改。

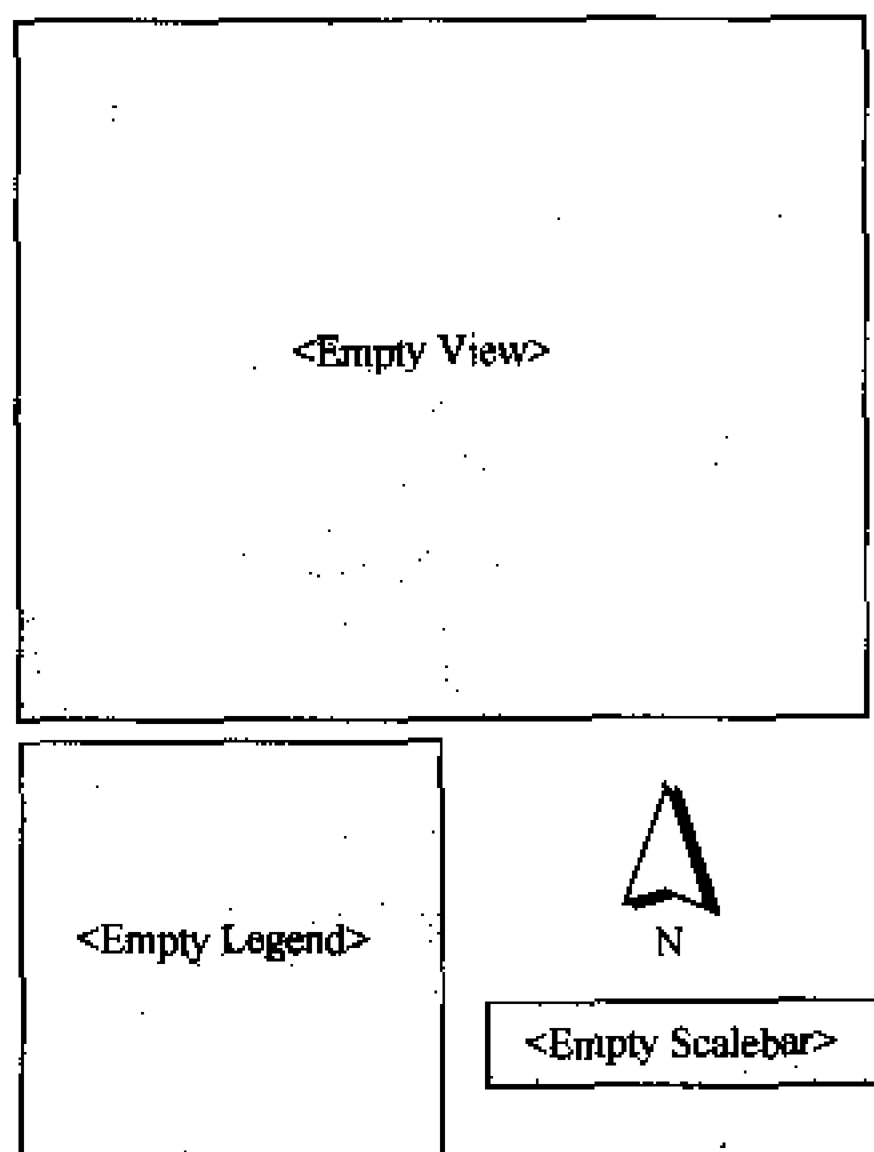


图 8.15　一个新的版面含有空的框幅以摆放地图主体、图例、比例尺和指北针。

8.5.2 视觉层次

视觉层次(visual hierarchy)是指将三维效果或深度引入地图的视觉设计开发过程。制图者根据各个地图要素在地图用途中的重要程度将它们置于不同的视觉层次中，从而创建了视觉层次。最重要的要素应放在最顶层且离读图者最近。最不重要的要素放在最底层。一幅专题地图的视觉层次可由三级或更多级组成。

视觉层次的概念是视觉感受中“**图形-背景**”**关系**的扩展。图形在视觉上更重要一些，离读者更近一些，它有形状，有令人印象深刻的色彩，并且有具体的含义。背景指的是图形的背景。地图制图员已经在地图设计中采用“深度暗示”(depth cues)来增强“图形-背景”关系(Robinson 等　1995，Dent　1999)。

或许最简单却又是最有效的创建视觉层次的方法是所谓的插入(interposition)或叠印(superimposition)。**插入**是用对象的不完整轮廓线使它看起来像在另一对象之后。插入的例子在地图中比比皆是，尤其是在报纸和杂志中。当经线与纬线相交于海岸线时，大陆在地图上看起来会显得更重要或者在整个视觉层次中会占据更高的层次。图名、图例或者插页地图如果位于图廓线以内，无论带不带阴影，看起来都会更突出。当地图主体被细心

地叠置在围绕地图的图廓之上时，地图主体将更加突出(图 8.17)。插入法使用如此方便，以至于它可能被滥用或误用。如果一幅地图的诸多要素竞相吸引读图者注意力的话，那么这幅地图看起来将令人费解(图 8.18)。

图 8.16(a) 一个冗长的图例会让人费解且可能产生版面设计问题。

图 8.16(b) 图 8.16(a)中的冗长图例被分为两个部分。爱达荷州的边界线符号从图例中删除。

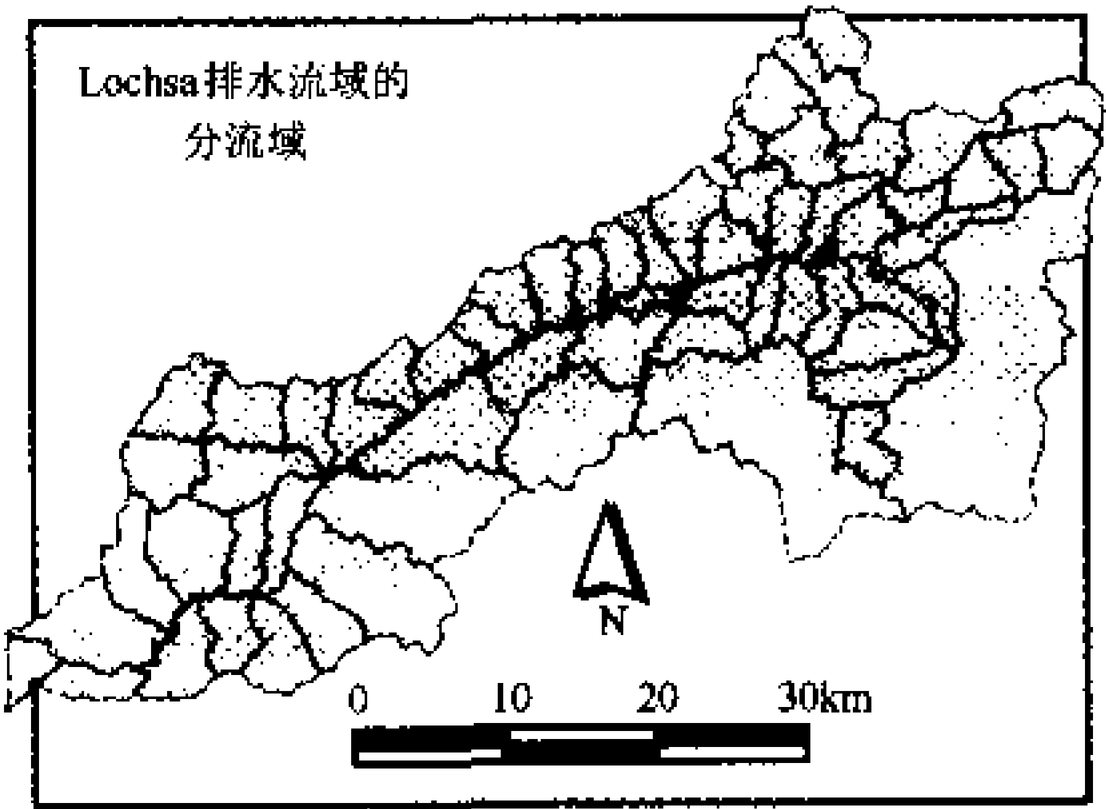


图 8.17 插入法在地图设计中的效果。

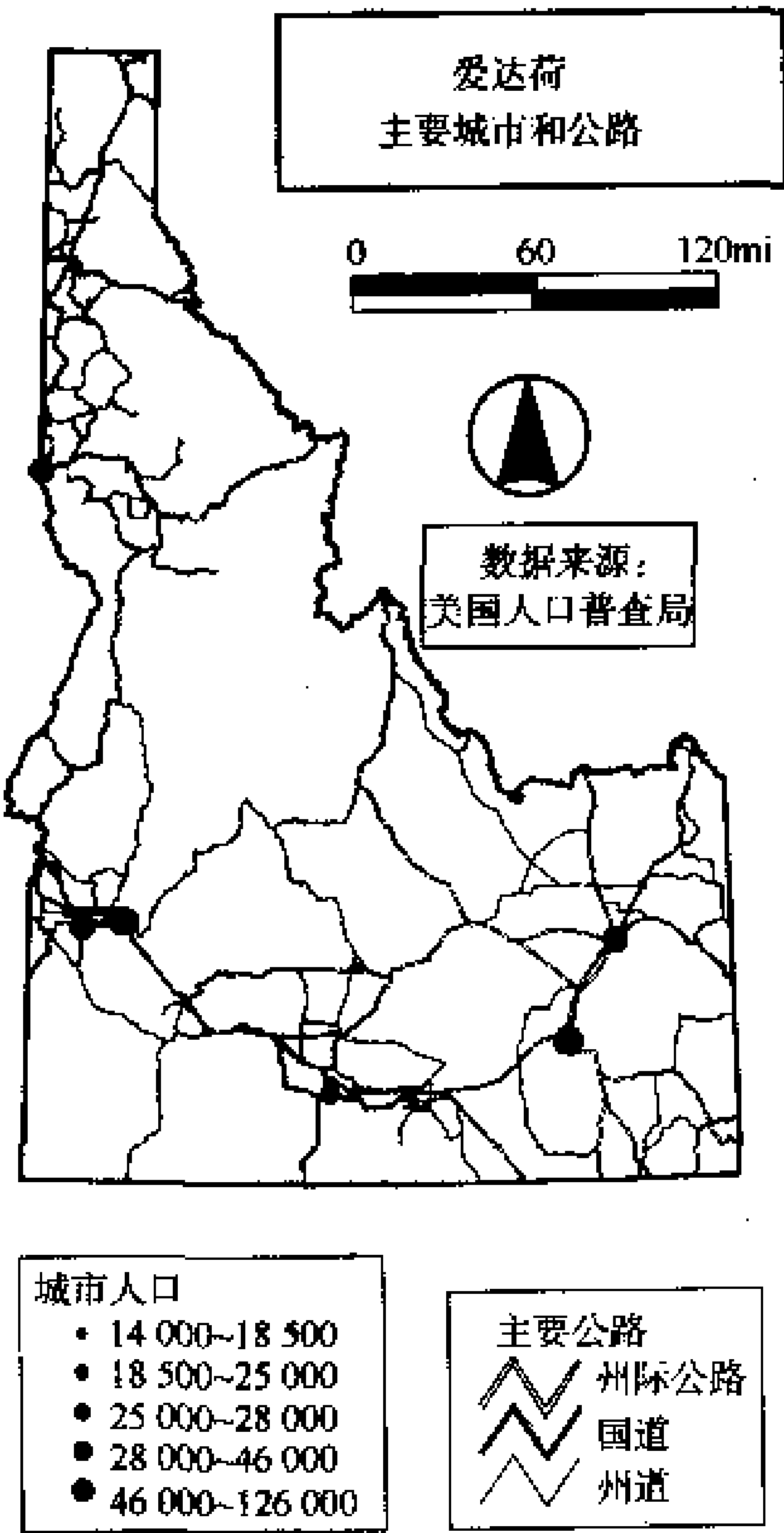


图 8.18 一幅地图如果用太多方框来突出各地图要素，整幅地图看起来令人费解。

再分结构(sub-divisional organization)是地图设计的原理之一，它根据拟定视觉层次将地图符号分为初级和二级符号。每个初级符号被赋予不同颜色，而二级符号之间的区分则是基于图案(pattern)、纹理(texture)或定向(orientation)(图 8.19)。例如，在一幅气候图上所有的热带气候都以红色表示，而不同的热带气候类型(例如，湿润赤道气候、季风气候和热带干湿季气候)则以线或点的图案来区分。再分结构对于有许多地图符号的地图(如气候图、土壤图、地质图和植被图)最有用。

对比是地图设计的一个基本要素，对版面布局和视觉层次都很重要。在尺寸或宽度上

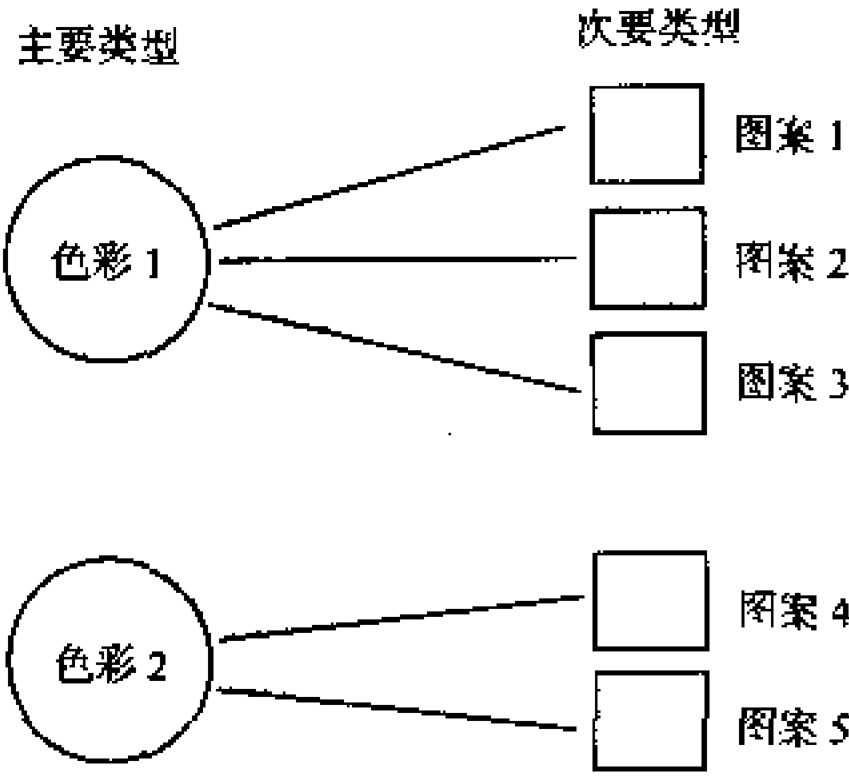


图 8.19 再分结构的一个例子。

的对比可使州界比县界、大城市比小城市看起来更重要(图 8.20)。色彩的对比能将图形从背景中区分出来。地图制图员常用暖色(如橙色到红色)表现图形而用冷色(如蓝色)表现背景。纹理的对比也能将图形和背景区分开来,因为在一幅地图上含有更多细节或更多纹理的地方趋于更加突出。与插入法的运用一样,对比的过多使用会使地图外观混乱。例如,在一幅地图上如果亮红色与绿色作为面状符号并排使用的话,看起来会很刺眼。

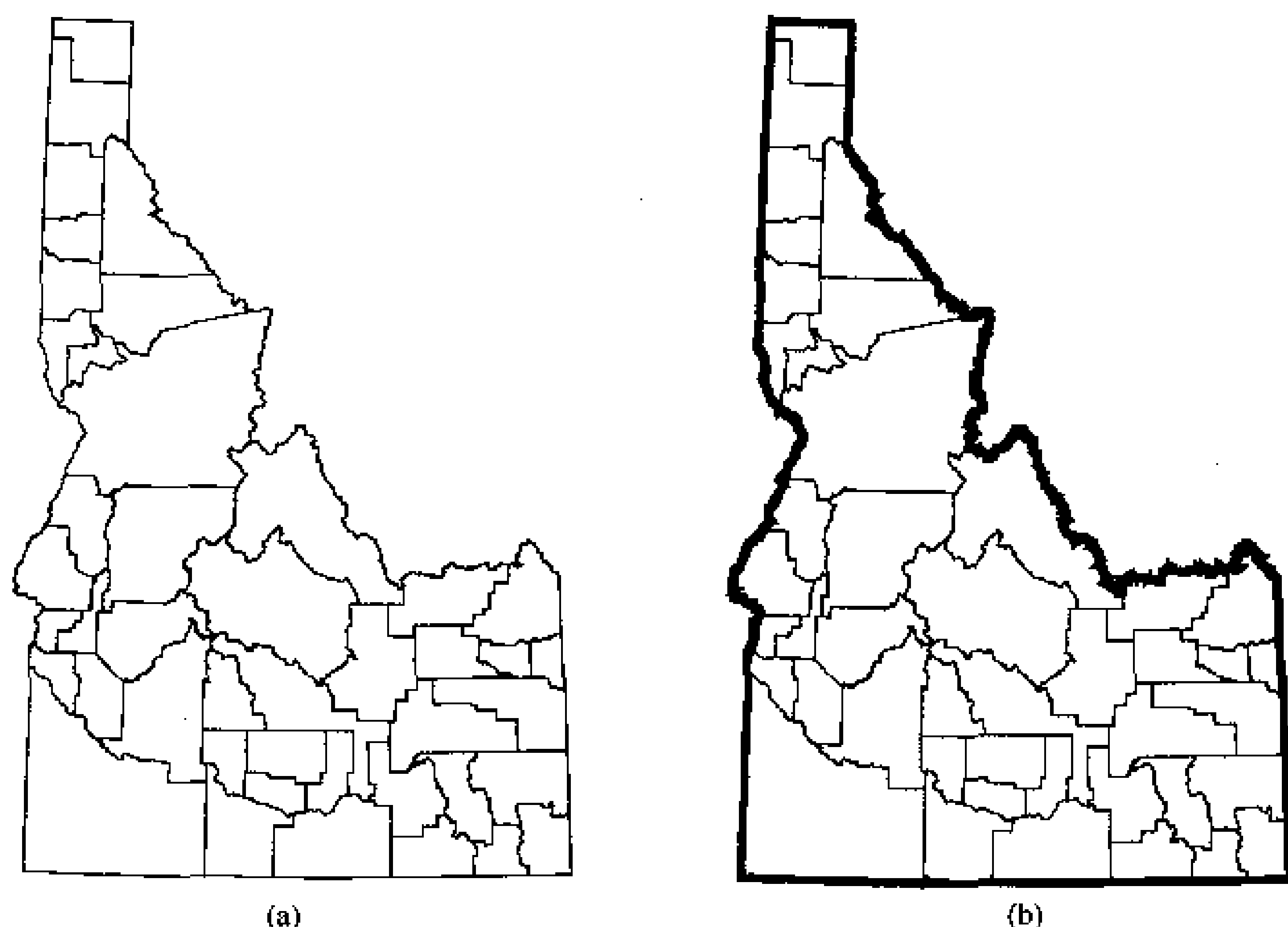


图 8.20 (a)图中缺乏对比性,而(b)图中线条的粗细对比使州界看起来比县界重要。

8.6 软拷贝地图与硬拷贝地图

GIS 用户在计算机屏幕上设计和制作地图。这些地图属于软拷贝形式。软拷贝地图能被用于计算机投影系统,或导出到其他软件,或转成硬拷贝地图。如同查看校核图以检查数字化准确度一样,硬拷贝地图(或称校样图)在查看地图设计的结果和产品时很有用。一幅令人满意的校样图可直接用于演示或进一步处理以便分色打印。

GIS 用户常惊讶地发现从彩色打印机打印出来的色彩符号与它们在屏幕上的颜色不完全一致。这种差异来源于不同介质和色彩模式的应用。大多数计算机屏幕采用**阴极射线管**(CRTs)来显示数据。CRT 屏幕有一个内置的细密的像元格网,每个像元都有对应的红、绿、蓝三种颜色的荧光粉。这些荧光粉被电子枪发射出来的电子击中时会以 **RGB**(红、绿、蓝)三色组合的形式发光。因此,我们在计算机屏幕上看到的色彩符号是由像元组成的,而每个像元的颜色实际上是 RGB 三种不同颜色混合的结果。

红绿蓝三基色各自的强度不同决定了它的颜色。每种基色可能具有的强度数目有赖于赋予电子枪的位平面(bit-planes)数目。比如,一个彩色显示系统中每支电子枪有 8 个位平面,意味着该系统可产生 1680 万种色彩($2^8 \times 2^8 \times 2^8$,或者 $256 \times 256 \times 256$)。

许多软件包提供 RGB 色彩模式来定义颜色。例如,ArcView 采用 RGB 模式显示多

波段影像数据。然而，RGB的混色模式并不直观(图8.21)。例如，饱和的红色与饱和的绿色相混合能产生黄色，这一现象不易理解。这就是其他的色彩模式已被开发来定义用在计算机屏幕的色彩。例如，ArcView用**HSV**(Hue色相、Saturation饱和度、Value亮度)色彩模式来定义常见的色彩。与RGB模式相似，HSV色彩模式中的每一颜色维的量度值范围为0～255，理论上共能生成1680万种颜色。

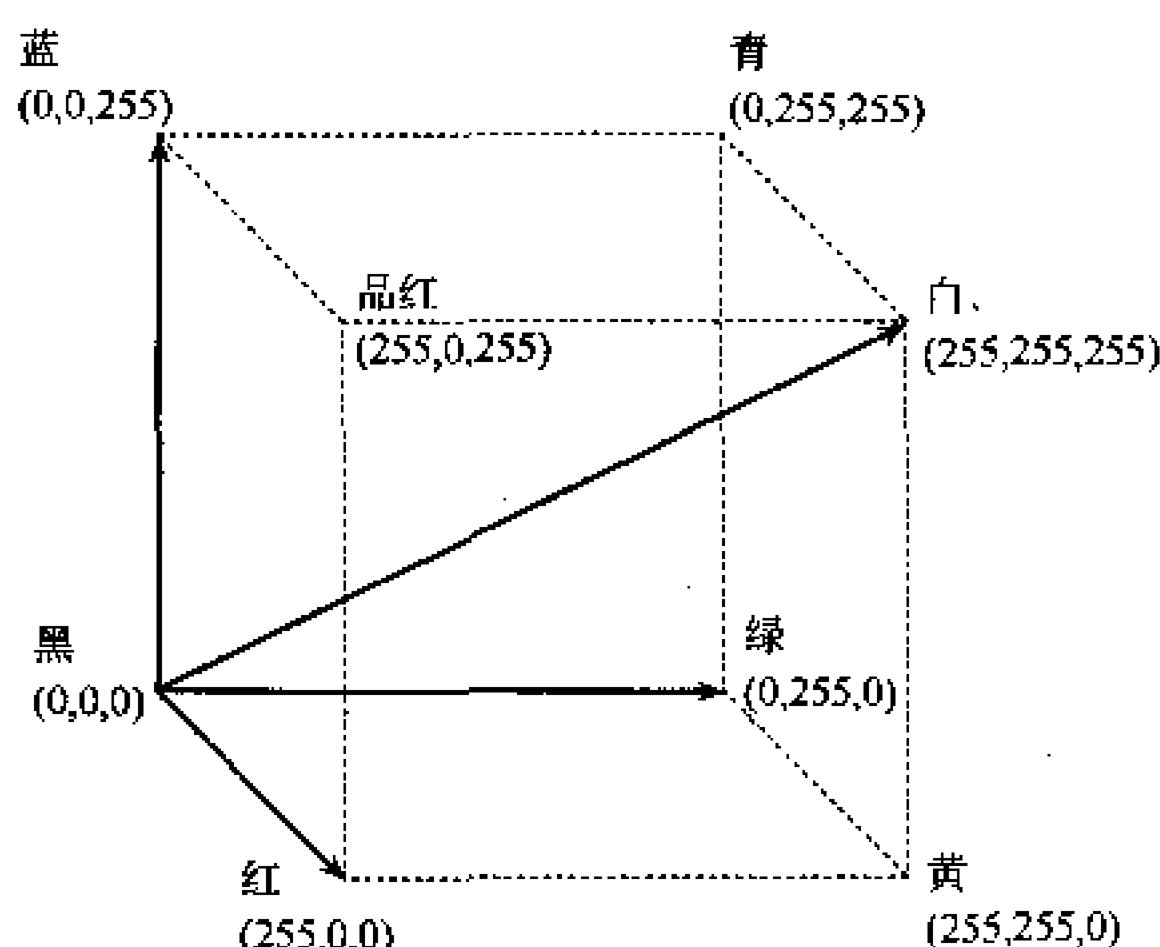


图8.21 RGB(红、绿、蓝)色彩模式。

打印的彩色地图与CRT色彩显示在两个方面有所不同：彩色地图反射光线而不发射光线；彩色地图上色彩的生成是减色而不是加色过程。减色法的三种基本色是青色、品红和黄色。打印的时候，这三种基本色加上黑色构成了**CMYK**模式的4种复照色(process colors)。

打印地图上色彩符号的生成与计算机屏幕上的大致一致，彩色点替代了荧光粉和像元点，而彩色点覆盖的面积百分数替代了不同光强。打印地图上的深橙色可能代表了60%的品红和80%的黄色的组合，而浅橙色则可能代表了30%的品红和90%的黄色的组合。为了使计算机屏幕上的色彩符号与打印地图上的色彩符号相一致，需从RGB模式转换到CMYK模式。但由于两者之间无法达到精确转换，因此打印出来的彩色地图看起来会与屏幕上色彩有所不同(Slocum 1999)。

重要概念和术语

版面布局：地图上各种地图要素的排列和组合。

彩度：一种颜色的丰富程度或鲜明程度。也称为饱和度或强度。

CMYK：一种色彩模式，在该模式中所有颜色均用四种复照色定义，这四种复照色为：青色(C)、品红(M)、黄色(Y)和黑色(K)。

插入(Interposition)：一个对象由于其不完整轮廓而显得好像位于其他对象之后的趋势。

衬线：加到字母线划末端的小的、修饰性笔触。

等值区域图：指用阴影符号显示从行政单位(如县或州)收集来的数据或统计数据的

地图。

地图设计：为达到地图目的而展开的视觉设计过程。

点描法地图：一种用统一的点状符号来显示空间数据的地图，每一个符号代表一个单位数值。

点：字号的测量单位，72点为1in。

对比：地图设计中的一个基本元素，可通过大小、宽度、颜色和纹理的不同设计来增强地图的外观或图形-背景关系。

分区密度图：一种并不按行政边界来分区，而是按统计数据和另外的信息来描绘具有相同数值区域的地图。

分层设色地图：一种用渐变色彩方案（如浅红到深红）来显示空间数据差异的地图。

分级符号地图：一种用不同大小符号（如圆圈、方形或者三角形）来代表不同数量等级的地图。

HSV：一种以色相（H）、饱和度（S）和亮度（V）来定义颜色的色彩模式。

流量地图：一种以不同宽度的线状符号来显示不同数量的流量数据的地图。

普通地图：一种用于通用目的地图，如美国地质调查局的地形图。

RGB：一种用红（R）、绿（G）和蓝（B）三原色定义各种颜色的色彩模式。

色相（或色别）：一种色彩得以与另一种色彩相区别的性质，如红色与蓝色即为不同的色相。色相是光的主波长。

色值（或亮度）：指一种颜色的亮度或暗度。

视觉层次：将三维效果或深度引入地图而展开的视觉设计过程。

统计图表地图：以饼状图或柱状图作为地图符号的地图。

图形-背景关系：将视野中更重要的对象（图形）从背景中分离出来的视觉感知趋向。

无衬线：不带修饰笔画。

样条文字：沿着一条曲线排列的文字串。

阴极射线管屏幕：一种带有内置的精细像元格网的显示设备，每个像元有三种荧光粉（红、绿和蓝）且当受到电子枪发射出的电子打击时会发光。

再分结构：地图设计原理之一，它将地图符号在拟定视觉层次中分为初级符号和二级符号两组。

字样：一种字体的特别样式或设计。

字体重量：字体的相对黑度，如粗体、常规或细长体。

字体宽度：字体的相对宽度，如窄体或宽体。

字形集：某一特定字样和大小的所有变体的完整集合。

专题地图：一种用来强调某一主题空间分布的地图，比如显示某个州的以县为统计单位的人口密度分布的地图。

应用：数据显示和地图制图

本章应用部分包括三个习作。习作1介绍了在ArcView中制作等值区域图的过程，先是黑白图的制作，然后是彩色图的制作。习作2涉及字体设计、分级符号、色彩组合的选

择和公路盾状符号的使用。习作 3 关注的是文字注记的摆放。

习作 1　制作一幅等值区域图

所需数据：us. shp，一个显示 1990～1998 年间美国各州人口变化专题的 shapefile。该专题的投影为阿伯斯(Albers)等积投影，单位是米。

等值区域图按行政单元显示统计数据。在本习作中，你将对 1990～1998 年间美国各州人口的变化率作图。习作 1 的重点是在 ArcView 中分级色彩的使用。

1. 启动 ArcView，打开一个新视窗，将 us. shp 加到视窗中。
2. 选择 View 下拉菜单中的 Properties。将 Name 一栏改为"Population Change By State，1990～1998"，Map Units 改为 meters，点击 OK。这个视窗的名称应变成你的地图的名称。选择 Theme 菜单下的 Properties，把 Theme Name 一栏改为"Percentage Change"，点击 OK。该专题名称应成为该专题图例的注释(description)。
3. 双击专题名称以调用 Legend Editor。从 Legend Type 下拉菜单中选择 Graduated Color。在 Classification Field 一栏中选"Zchange"，该字段包含了 1990～1998 年百分率变化的数据。点击 Apply。默认设置分为 5 种类型，采用的是红色的单色方案。
4. 默认数据分类方法为自然断点法且取 5 种类型。通过点击 Legend Editor 中的 Classify 按钮打开分类对话框，来改变类型数目或分类方法。Type 和 Number of Classes 选项中的滚动条可以让你分别改变分类方法和类型数目。
5. 你也可以改变 Legend Editor 中的类型分隔点。要改变各类型分隔点，点击 Value 单元格，键入你希望的类型分隔点，然后按回车。确认你所键入的类型分隔点不会使类型之间存在间隙，否则你将发现有些州的数据没有被赋予颜色显示在图上。制图员建议在数据分类中使用类似 5.0 这样的数字而不使用 5.3 这样的小数位不为零的数。制图员还建议在数据分类中采用逻辑断点(如 0 值)，这样使得负值与正值可以被清楚地分隔开来。本例中有 4 个负值，即从 1990～1998 年全美有 4 个州的人口下降(康涅狄格州、哥伦比亚特区、北达科他州和罗得岛州)。
6. 点击 Legend Editor 中 Color Ramps 的滚动条按钮。下拉菜单中包括了适于定量数据制图的各种色彩方案。如果你选择 Gray Monochromatic，点击 Apply，你将会看到一幅灰色符号的美国黑白地图。为继续完成本习作的剩余部分，请在 Color Ramps 中选择 Orange Monochromatic。如果你已经将变化率为负值的州归为第一类型(即－13.8～0.0)，那么改变其符号的颜色会是一个好主意。双击第一个类型中的 Symbol 单元格以打开调色板。按下 Color Palette，点击一种颜色(如绿色)，你将会看到绿色符号已成为第一类型的颜色。如果你点击 Apply，这幅美国地图将按照新的色彩方案重新画过。
7. 如果 Color Palette 仍保留在屏幕上，你可以试试自行选择色彩选项。点击 Color Palette 中的 Custom 按钮以打开 Specify Color 对话框，它是基于 HSV(色相/饱和度/色值)色彩模式的。每个色彩维度的值域为 0～255。你可以通过对每个色彩维度设置一个值来确定你想要的颜色。如果你喜欢所显示的颜色，点击 OK。你定

义的这个颜色就成为色彩方案中的一个颜色。

8. 关闭 Legend Editor 和 Color Palette。现在着手编排地图。选择 View 下拉菜单中的 Layout。
9. Template Manager 有 5 种默认模板。点击 Portrait，再点击 OK。你将看到一幅带有图名、图例、条状比例尺和指北针的美国地图的版面；
10. 在对该版面中的各地图要素进行操作之前，将该版面的格网调得精细一些，因为这些格网控制着各个地图要素的排列。选择 Layout 菜单下的 Properties，在 Layout Properties 对话框中，将水平和垂直格网间隔设置为 0.1。
11. 你可以有许多种办法来操纵一个激活的图形元素。你可以通过拖拽将其移到 layout 中任何位置上。通过拖拽其四角的操作手柄(handles)，可进行放大和缩小。或者可以选择 Graphics 菜单下的 Size and Position 在 View Frame Size and Position 对话框中指定各图形元素的高度和(或)宽度以及它在整个版面中的相对位置(均以英寸为单位)。条状比例尺是惟一一个较难进行放大或缩小的图形元素。
12. 如果你无法选中一个地图要素，或许需要使用 Graphics 菜单下的 Bring to Front 和 Send to Back 这两个按钮。
13. 若要在图上添加文字，比如你的名字，可先按 Text 工具按钮，然后将鼠标放到你所希望的文字串的起始位置，点击一下鼠标。在 Text Properties 对话框中，键入文字，如有必要，在 Horizontal Arrangement 一栏选择水平对齐方式，再点击 OK。在将文字初步摆放好之后，你还可以将其缩放或移动。
14. 若要在地图上添加图廓线，按下 Draw Point 工具按钮并从下拉菜单中选择矩形符号，然后将光标放在你所要设定的图廓线框的左下角，再拖拽光标到图廓线框的右上角。Draw Point 工具按钮的下拉菜单还包含其他图形也可用于地图设计，如点、线和圆。通常这些图形的默认线宽的视觉效果都太细，你可以通过选择 Windows 菜单下的 Show Symbol Window 来改变 Fill Palette 中的 Outline 宽度，从而改变线宽。
15. 指北针有多种款式可用。选中指北针符号并双击它，即可打开含有多种款式的指北针选项，选择其中一种款式再点击 OK。
16. 当你准备打印地图时，你可以选择 File 菜单下的 Print，或者选择 File 菜单下的 Export 将你的版面存为图形文件。

习作 2　分级符号、线状符号和注记设计

所需数据：idlcity.shp，显示爱达荷州 10 个最大城市的专题 shapefile；idhwy.shp，显示爱达荷州境内州际、国家级和州级公路的专题 shapefile；idoutl.shp，爱达荷州轮廓地图。

习作 2 让你在 ArcView 中进行不同字体设计试验，运用分级符号和运用公路盾状符号。本习作还涉及色彩符号的选择和地图的总体设计。

1. 启动 ArcView，打开一个新的视图，将 idoutl.shp、idhwy.shp 和 idlcity.shp 加到视图中。选择视图菜单下的 Properties，将视图的名称改成合适的地图名称，将

Map Units 改为 feet，点击 OK。选择 Theme 菜单下的 Properties，对三个主题分别改用合适名称作为图例注释。

2. 对 idoutl.shp 所要做的惟一选择是其颜色，爱达荷州的背景色彩应与 idlcity.shp 中的点状符号及 idhwy.shp 中的公路符号具有较大的反差。双击 idoutl.shp 以调用 Legend Editor，为 idoutl.shp 选择一种彩色符号。
3. 双击 idhwy.shp 以打开 Legend Editor。在 Legend Type 一栏中选择 Unique Value，Value Field 一栏选择 Route_desc。你将看到三种默认符号被分别赋予州际、州级和国家级公路。双击州际公路的默认符号以打开 Pen Palette，你可以改变线状符号（例如，变为双线符号）及其颜色。重复同样步骤以改变州级、国家级公路符号。
4. 对于城市主题，你将首先用分级符号来显示城市人口。双击 idlcity.shp 以打开 Legend Editor，从 Legend Type 下拉菜单中选择 Graduated Symbol，在 Classification Field 一栏选 Population。默认的分类方法将所有的城市按人口数分为 5 个级别。本图中你可以将城市级别数缩减至 3 个级别，点击 Classify 按钮将 Number of Classes 一栏的数值改为 3。同时将各级别的值域改为：14 302～30 000、30 000～45 000 和 45 000～125 659。
5. 下面处理位于 Legend Editor 下端的 Symbol 和 Size Range 这两个栏目。Symbol 决定符号类型，例如，空心圆、实心圆、带轮廓线的实心圆等。Size Range 决定分级符号的大小差异。Symbol 的默认选项是实心圆。通过双击 Symbol，你可以调用 Marker Palette 来改变符号类型。你也可以调用调色盘（Color Palette）来改变点状符号的颜色。Size Range 是以点量度的，72 个点为 1in。Size Range 的默认值域是 4～12，这一尺寸范围的圆在 8.5in×11in 的地图上相当小。你可以尝试不同的尺寸范围以确定哪一个范围最适于你的地图。请记住，有两个城市离博伊西（Boise）市很近，若用大圆表示博伊西市，则会遮盖住与其相邻城市，选完符号类型和尺寸范围后点击 Apply。
6. 下一步是标注各个城市。如本章中所阐明的，你可以手工交互式地标注城市名称，也可以采用自动标注的办法。在本习作中，你将采用交互式的方法（在习作 3 中你将会用到自动标注法）。确认 idlcity.shp 是激活的主题。从 Theme 菜单下选择 Properties 以打开 Theme Properties 对话框，点击左边一栏的 Text Labels 图标。Label Field 一栏选 city_name。去掉 Scale Labels 旁的打钩，意味着在你的设计中选择不使用可调整尺度的标注（可调整尺度的标注会随着视图缩放而改变大小），点击 OK。
7. 用不同的字体来标注各个级别的城市。选择 Windows 菜单下的 Show Symbol Window，点击 Font Palette 以打开它。为最大规模等级的城市选择字体，包括字样、大小和样式（style，在本章中称为字形 form）（最好记下所选择的字体以便以后参考）。点击 Label 工具按钮，并点击一个属于最大一级的城市。你将看到该城市的名称出现在图上，名称四周还带有四个操作手柄。这些手柄意味着这个名称现在是一个被激活的图形元素，因此你可以将它移动到图上任何合适的位置。对最大一级的其他几个城市进行同样操作，给它们标注名称。重复同样步骤标注中

间一级和最小一级的城市。为使文字设计达到和谐，三个级别的城市名称均采用同一种字体，但大小和样式有所不同。

8. 在给每个城市进行了名称标注以后，你可能还想要改变注记的字体设计或移动某一个城市名称的位置。可按如下步骤进行：点击 Pointer 工具按钮，点击你想要修改的城市名称(被选中的城市名称周围会出现四个操作手柄)，然后移动该城市名称的位置或改变其字体设计。在 Pointer 工具仍处于被选中状态下，在操作手柄框外点击鼠标，使该名称不再被激活。
9. ArcView 有一个功能可允许你为注记添加一条引线。这对于标注位置相近的城市如博伊西、楠帕(Nampa)和考德威尔(Caldwell)很有用，按下 Label 工具按钮，从下拉菜单中选择 Labeling with a Leader Line，点击你想要添加引线的城市，按住鼠标左键并把光标拖到想要放置标注的地方。
10. ArcView 还有一个功能可让你为道路标注盾状符号。可经由以下几个步骤：首先，确认 idhwy.shp 是活动主题并从 Theme 菜单下选择 Properties，在 Properties 对话框中，点击 Text Labels 图标，在 Label Field 一栏选 Minor1(带有公路号码的字段)，Alignment Relative to Line 选 On，Alignment Along Length 选 Midway，去掉 Scale Labels 旁的打钩。点击 OK 以关闭 Theme Properties 对话框。接下来，选择 Graphics 菜单下的 Text and Label Defaults。在 Default Settings *for text and label tools* 对话框中，选择公路图标工具并设定其各项参数。这些参数包括两个部分：一部分用于公路号码的字体设计，另一部分是公路盾状符号。通常情况下，号码与符号的大小应设置为相同。
11. 为了标注一条公路，按下 Label 工具按钮然后选择在前面步骤中你所设置的图标。将光标定位到你想要放置公路盾状图标的地方并点击鼠标。重复上述步骤为同一等级的其他公路标注图标。若要标注不同等级的公路，则重复标注图标之前的步骤。
12. 地图设计是一个不断反复的过程。因此，生成一幅你真正想要的地图，必须不断重复上述步骤。当你对视窗内地图的外观感到满意后，可转到 View 菜单下的 Layout 中来编排地图。版面中默认图例是由所有以图形元素描述的主题组成的，通常需要加以修改。例如，图例中包括了爱达荷州边界的主题描述。这在图例中并不是必要的。为将边界主题注释从图例中删除，首先使图例成为激活的图形元素，再从 Graphics 菜单下选择 Simplify，将图例分裂为更小的图形元素，再选择边界主题的图例方框和图例注释，加以删除。若你想将这些图形元素重组为城市和公路两个部分的图例，你可使用 Group 功能。第一步，按住 Shift 键不放，将光标拖至形成一个外框，将属于 idlcity.shp 的图例框和注释框住，然后选 Graphics 菜单下的 Group。现在你可以将 *idlcity.shp* 的图例作为一个单独的图形元素来进行操作，对 idhwy.shp 图例的操作也可依此法进行。
13. 当你准备打印地图时，从 File 菜单下选择 Print。或者你可选择 File 菜单下的 Export 将你的版面存成图形文件。

习作 3 文字注记的标注

所需数据：charlie.shp，一个显示北爱达荷山塔河(Santa Creek)及其支流的专题 shapefile。

习作 3 让你在 ArcView 中尝试自动标注的方法。尽管此法可以标注一幅地图上所有的要素并删除重复的名称，但是它仍需要对个别标注和发生重叠的标注进行调整。因此，习作 3 也会要求你使用样条文字工具(Spline Text tool)。

1. 启动 ArcView，打开一个新视窗，将 charlie.shp 加到视窗中。将视窗窗口放到最大。选择 Theme 菜单下的 Properties 以打开 Theme Properties 对话框。在对话框中，点击左边一栏的 Text Labels 图标，Label Field 一栏选择 Name，Alignment Relative to Line 一栏选 Above，Alignment along Length 一栏选择 Midway。除去 Scale Labels 旁的打钩，点击 OK 以关闭对话框。
2. 下一步是为河流名称选择不同的字体。选择 Window 菜单下的 Show Symbol Window，打开 Font Palette。选择一种衬线字体(如 Times New Roman)，Size 选 10，Style 选 Italic。
3. 先在目录表中对 Charlie.shp 旁的复选框打钩以显示水系图，再选择 Theme 菜单下的 Auto-label 以打开 Auto-label 对话框。在对话框中，选择 Find Best Label Placement，钩选 Allow Overlapping Labels 和 Remove Duplicates，点击 OK。
4. 现在视窗中每一条河流都有了标注，但仍有一些问题。鲍勃河(Bob Cr.)和布朗河(Brown Cr.)的名称呈现绿色，表明它们或者与其他标注发生了重叠或者落在了地图图幅外面。帕马斯河(Pamas Cr.)的注记并没有沿着河流的走向。
5. 布朗河(Brown Cr.)和帕马斯河(Pamas Cr.)的标注问题实际上是由于法根河(Fagan Cr.)的标注位置引起的。因此解决这个问题的第一步就是将法根河(Fagan Cr.)的标注往上游移一点。按下 Pointer 工具然后选中法根河(Fagan Cr.)这个注记。当注记四周的操作手柄出现时，从 Edit 菜单下选择 Delete Graphics 以删除该注记。现在重新标注法根河(Fagan Cr.)。按下 Text 工具按钮，然后从下拉菜单中选择 Spline Text 选项。将光标移到新标注的起始位置，点击几个点以连成一条曲线，双击退出。同时在屏幕上出现 Spline Text Properties 对话框，在对话框中键入 Fagan Cr.，然后点击 OK。Fagan Cr. 将出现在地图上。若仍不满意可重复同样的步骤重新标注。你可以用相同的步骤来纠正布朗河(Brown Cr.)和帕马斯河(Pamas Cr.)的标注问题。至于鲍勃河(Bob Cr.)，你需要将名称标注在河流的下方。记住，你重新标注的这些河流名称现在已经成为独立的图形元素。Theme 菜单下的 Remove Labels 操作将无法删除它们。

参考文献

Antes, J. R., K. Chang, and C. Mullis. 1985. The Visual Effects of Map Design: An Eye Movement Analysis. *The American Cartographer* 12: 143—155.

Antes, J. R., and K. Chang. 1990. An Empirical Analysis of the Design Principles for Quantitative and Qualitative Symbols. *Cartography and Geographic Information Systems* 17: 271—277.

Brewer, C. A. 1994. Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. In A. M. MacEachren and D. R. F. Taylor

(eds.). *Visualization in Modern Cartography*. Oxford: Pergamon Press, pp. 123—147.

Chang, K. 1978. Measurement Scales in Cartography. *The American Cartographer* 5: 57—64.

Cuff, D. J. 1972. Value Versus Chroma in Color Schemes on Quantitative Maps. *Canadian Cartographer* 9: 134—140.

Dent, B. D. 1999. Cartography: Thematic Map Design. 5 th ed. Dubuque, Iowa: WCB/McGraw-Hill.

Kraak, M. J., and F. J. Ormeling. 1996. *Cartography: Visualization of Spatial Data*. Harlow, England: Longman.

Mersey, J. E. 1990. Colour and Thematic Map Design: The Role of Colour Scheme and Map Complexity in Choropleth Map

Communication. *Cartographica* 27(3): 1—157.

Monmonier, M. 1996. *How to Lie With Maps*. 2d ed. Chicago: Chicago University Press.

Mower, J. E. 1993. Automated Feature and Name Placement on Parallel Computers. *Cartography and Geographic Information Systems* 20: 69—82.

Robinson, A. H., J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, and S. C. Guptill. 1995. *Elements of Cartography*, 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Slocum, T. A. 1999. *Thematic Cartography and Visualization*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

第9章 数据探查

9.1 引 言

在 GIS 项目中着手数据分析可能是最重要的。GIS 数据库可能含有几十个地图图层和几百个属性。从何处着手？寻找何属性？存在哪些数据关系？进入分析状态的一种方便途径是数据探查。Broadly 将**数据查询**定义为：以数据为中心的查询和分析。它可使用户调查数据中的总体趋势，细查数据子集并关注数据之间可能存在的关系。数据探查的目的是更好地理解数据，为阐明研究问题和设想提供一个起点。

数据探查的一个重要组件为交互式、动态链接的可视化工具。地图（无论基于矢量或栅格）、图形和表格在多视窗中显示并动态链接，因此，若从表格中选择一个或多个记录，在图形或地图中则自动加亮相应要素。因此，数据探查可从不同角度观察数据，使信息处理和综合更为容易。基于 Windows 的 GIS 软件包可同时进行地图、图形和表格的运作，适合于作数据探查。

本章由五个部分构成。第一部分讨论交互式数据探查。第二部分涵盖了由属性数据、空间数据和两者进行矢量数据查询。用单元值或图形法进行栅格数据查询则在第三部分述及。第四部分简要解释了统计图表在数据探查中的应用。第五部分探讨地理可视化、操作与显示 GIS 数据的不同方法。本章强调在 GIS 中空间数据和属性数据之间的动态链接，将其贯穿于各部分中。本章用 ArcView 举例，也有限地用到 ARC/INFO。

9.2 交互式数据探查

统计学家习惯于用统计图和图解（如柱状图和散点图等）来探究数据结构和发现数据模式。在柱状图中，数据被分为若干类型，柱高表示落于每类数值的数目。散点图则用于点绘沿 x 轴和 y 轴这两个变量的数值。数据探查在统计学中已经扩展到包括探测性数据分析（Tukey 1977，Tufte 1983）和动态图形（Cleveland 等 1988，Cleveland 1993）。**探索性数据分析**提倡利用各种技术更有效地检测数据，作为统计学分析的第一步。**动态图形**强调利用多个动态联结视窗，让用户直接操作统计图和图解中的数据点来进行探索性数据分析。由于视图是链接在一起的，在一个视图上的加亮会直接引起其他视图相应数据点的加亮。这种数据结构的交互作用和实验，有助于用户认识数据模型和异常数据点（非正常值）。因此探索性数据分析是更正式和更有组织的数据分析的先驱。

在动态图形中数据处理的常用方法包括数据点的选择、删除、旋转和转换。例如，**刷亮**（brushing）是在多视图中加亮一个数据子集的一种方法（Becker 等 1987）。该方法允许用户从一个散点图中选择一个点的子集，察看在其他散点图中加亮的有关数据点。刷亮法也可用于所包含地图的地理关联（Monmonier 1989）。

有些统计图是为专门用途设计的。例如，框符图(box plot)表示一幅图中数据集的五种统计量(中位数、第一四分位数、第三四分位数、最小值和最大值)。变态云(variogram cloud)(Cressie 1993)是每对数据点的数值方差的散点图。

GIS 中的数据探查与探索性数据分析相类似：允许用户关注于所感兴趣的数据子集。但是数据探查的媒介扩大到矢量地图、栅格地图和地图要素。由于地图被动态链接到统计图、图解和表格，提供了新的数据库界面并提供数据分析的空间视图。同时，地图的使用也需要探索性空间数据分析的专门方法，空间数据分析考虑空间数据的特殊性质(Anselin 1999)。

在 GIS 中数据探查的一个特殊性质是空间数据和属性数据之间的链接。例如，一个研究土壤条件的 GIS 用户可能想知道研究区有多大面积是贫瘠的，以及那些贫瘠土壤分布在哪里。这种链接必须是动态的和实时的：加亮属性数据的一个子集将同时加亮该视图的视窗中相应的地图要素，反之亦然。基于 Windows 的 GIS 软件包很容易满足这一要求，它可在分离的而又动态链接的视窗中显示一个专题的空间数据和属性数据。

空间数据和属性数据之间的链接是矢量数据模型的一个重要特征。数据查询，利用要素属性表，基于矢量的地图可与关系数据库的其他属性表联结或链接，用于数据查询。对于栅格数据模型，链接不像矢量数据模型那么重要的主要原因有二：其一，栅格模型使用固定位置的单元；其二，浮点型单元值的栅格模型没有数值属性表，这限制了它在数据查询中的应用。因此，本章在讨论数据探查时，将矢量数据与栅格数据分开讨论。

9.3 矢量数据查询

9.3.1 属性数据查询

属性数据查询是通过对属性数据的操作从地图中检索数据子集。选中的数据子集可目视检查或将其存储留待进一步处理。属性数据查询需要利用表达式，表达式必须是可被 GIS 或数据库管理系统解译的。表达式通常因系统而异。本节述及用 ArcView 和与关系数据库并用的 SQL(结构化查询语言)来进行属性数据查询。

1. 逻辑表达式

在 ArcView 中的数据查询遵循布尔代数(Boolean algebra)(英国逻辑学家 George Boole，1815～1864 年)并由逻辑表达式与布尔连接符组成。**逻辑表达式**含有运算数和逻辑运算符。例如，“class = 2”是一个逻辑表达式，其中“class”和“2”是运算数，“=”是逻辑运算符。在本例中，class 是字段名，2 是用于查询的字段值，逻辑表达式选择 class 值为 2 的那些记录。运算数可以是字段、数字或字符串。逻辑运算符可以是等于(=)、大于(>)、小于(<)、大于或等于(>=)、小于或等于(<=)，或不等于(<>)。

布尔连接符是 AND、OR、XOR 和 NOT，它们在查询语句中用于连接两个或更多逻辑表达式。在下例中，连接符 AND 连接两个表达式：(class = 2)AND(age > 100)。根据该语句所选择的记录必须同时满足(class = 2)和(age > 100)。在本例中，如果连接符变

为 OR，那么满足两个表达式之一或两个表达式均满足的记录被选择。如果连接符变为 XOR，则仅仅满足两个表达式之一的记录被选择。连接符 NOT 为否定表达式，即真实表达式变为假，反之亦然。例如，语句 NOT(class＝2) AND (age＞100)，选择那些 class 不等于 2 且 age 大于 100 的记录。

布尔连接符 NOT、AND 和 OR 实际上是用于对数据集在概率上进行 COMPLEMENT(互补)、INTERSECT(相交)和 UNION(联合)运算的关键字。图 9.1 对这些运算做了解释，A 和 B 代表一个全集的两个子集。

(1) "COMPLEMENT of A"包含全集中不属于 A 的元素。

(2) "INTERSECT of A and B"是既属于 A 又属于 B 的元素集。

(3) "UNION of A and B"是属于 A 或 B 的元素集。

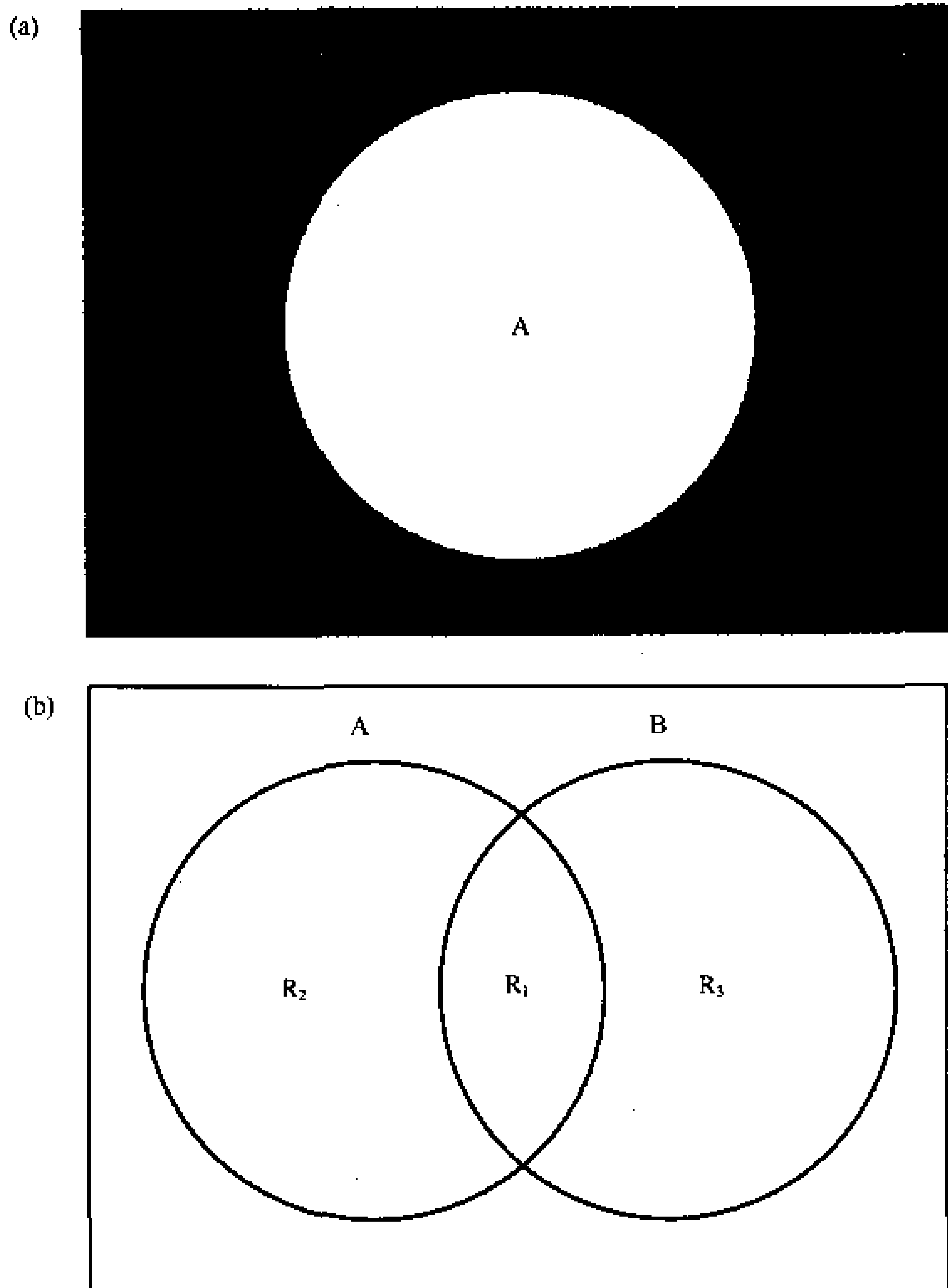


图 9.1　(a)中的阴影部分代表数据子集 A 的补图(complement)。(b)中的 R_1 代表数据子集 A 和 B 的交集(intersection)。R_1、R_2 和 R_3 组合区域为 A 和 B 的并集(union)。

2. 运算类型

在 ArcView 中数据查询是以完整数据集开始的。通过查询，数据集被分为两个子集：一个含有选上的记录，另一个为未选上的记录。基本查询运算，称为 New Set(新数据集)，是去选择一个数据子集。给定一个数据子集，有三种运算类型可作用于该子集。第一，称为 Add To Set(加入数据集)的运算可对该子集添加记录；第二，称为 Select From Set(选自数据集)的运算可将其减少为较小的子集；第三，称为 Switch Selection(切换选择)的运算，可在选上的子集和未选上的子集之间切换。Select All(全选)或 Select None(不选)通过清除选上的记录，返回整个数据集。命令驱动的软件包 ARC/INFO 具有与 ArcView 相似的查询功能(注释栏 9.1)。

ARC/INFO 中的查询操作

ARC/INFO 有与 ArcView 相同的查询操作类型。RESELECT(重选)命令执行与 New Set(新数据集)相同的功能，即选择数据子集。ASELECT 可添加记录到该子集，而 NSELECT 在选上的子集和未选上的子集之间切换。有两种方法可返回整个数据集：① ASELECT 不含表达式。② SELECT 以选择 INFO 表格。

3. 查询运算举例

下列例子运用表 9.1 的数据(10 个记录和 3 个字段)说明不同的查询运算。

表 9.1 查询操作的数据集实例

成 本	土壤类型	面 积	成 本	土壤类型	面 积
1	Ns1	500	6	Tn4	300
2	Ns1	500	7	Tn4	200
3	Ns1	400	8	N3	200
4	Tn4	400	9	N3	100
5	Tn4	300	10	N3	100

例 1：选择一个数据子集，然后对其添加记录。

[New Set] cost >=5 AND soiltype= "Ns1"

— 0 of 10 records selected(无一记录被选择)

[Add To Set] soiltype ="N3"

— 3 of 10 records selected(10 个记录中选上 3 个)

例 2：选择一个数据子集，然后切换选择。

[New Set] cost >=5 AND soiltype= "Tn4" AND area>=300

— 2 of 10 records selected(10 个记录中选上 2 个)

[Switch Selection]

— 8 of 10 records selected(10 个记录中选上 8 个)

例 3：选择一个数据子集，然后从中选择一个更小的子集。

[New Set] cost>8 OR area>400

— *4 of 10 records selected*（10 个记录中选上 4 个）

[Select From Set] soiltype="Ns1"

— 2 of 10 records selected（10 个记录中选上 2 个）

4. 关系数据库查询

关系数据库查询是用关系数据库完成的，关系数据库由许多独立而又相互关联的表格所组成。在关系数据库中查询一个表格，不仅在表中选择一个数据子集，而且在其他表格中选择与该子集相关的记录。在数据探查中很需要这种特点，因为它使得用户能从多个表格中检验到相关数据特征。

要使用关系数据库，用户首先必须熟悉数据库的整体结构、关系表格中的关键字名和每个表中所列的字段数据词典。在 ArcView 中，用户可选连接(Join)和链接(Link)来完成查询。连接是把两个或两个以上的表格连接成单一表格。链接则保持表格分离而仅仅动态链接。要建立一个链接，用户必须指明一个表格为原表，指明另一个表格为目标表。在建立链接之后，在目标表中选中一个记录将自动选中原表中的一个或多个相对应的记录。但是，链接只存在于目标表中。换言之，在原表中选中一个记录将不会自动选中目标表中的一个或多个记录。这种有方向链接在数据探查中可能产生限制和造成混乱。解决这个问题的方法之一是在表格之间建立双向链接(图 9.2)。

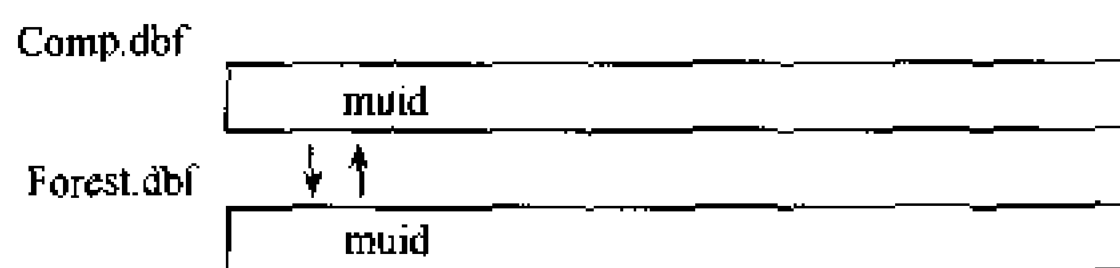


图 9.2 为确保从 comp.dbf 或 forest.dbf 都能完成数据查询，必须在这两个表格之间的建立双向链接。

第六章曾经讨论过，国家地图单元解译记录(MUIR)数据库是一个由自然资源保持局(NRCS)维护的关系数据库。该数据库含有 80 多个估算的土壤性状和对土壤图上每个多边形的解释和性能数据。使用该数据库的主要挑战性问题在于，挑选出每个土壤属性所在之处以及表格是如何链接的。假设我们提问：在每年洪涝频率为频繁或偶发地方，可发现什么类型的植物(以其共同名称)？为回答这个问题，我们需要以下 3 个 MUIR 表格：地图单元组分表或 comp.dbf(含有年洪涝频率的数据)，林地自然植物表或 forest.dbf(含有森林类型的数据)和名为 plantnm.dbf 的查找表(含有共同植物名称)。下一步找出可链接这三个表格的关键字(图 9.3)。最后，我们需要利用 musym(地图单元符号)作为关键字把土壤图中的专题属性表与 comp.dbf 链接起来。

在表格之间的双向链接建立起来以后，我们可对 comp.dbf 发出下列查询语句：

([anflood] = "frequent") OR ([anflood] = "occas")

逻辑表达式的赋值结果，不仅选中 comp.dbf 中满足指标的记录，而且选中 forest.dbf、plantnm.dbf 和该地图专题属性表中的相应记录和相应的土壤多边形。由于在 MUIR 中表格之间被关联并与地图动态链接，这种动态选择可以实现。关系数据库查

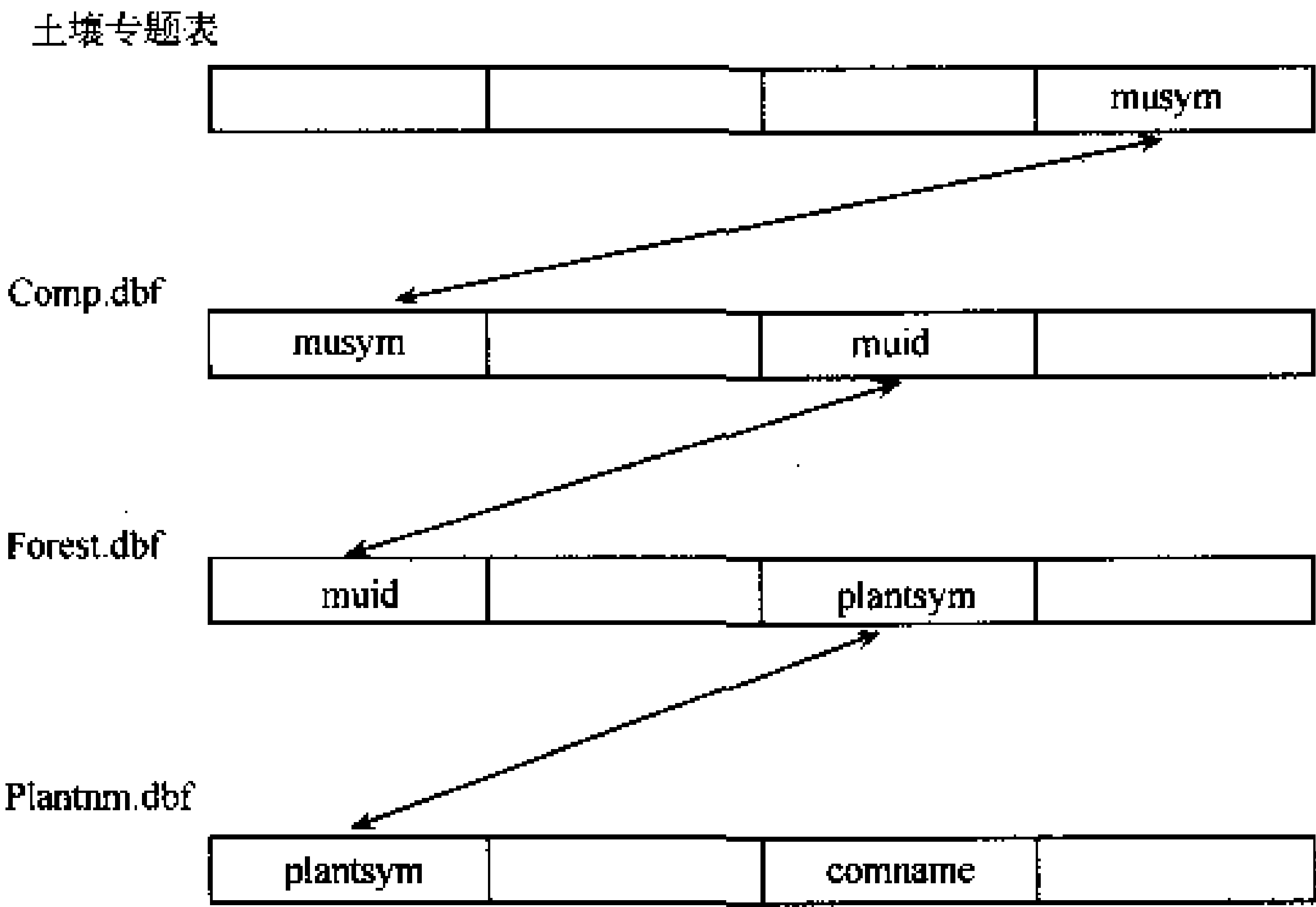


图 9.3 关键字关联了 MUIR 中的三个 dBASE 文件和专题属性表。在 plantnm.dbf 中的字段 comname 包含共同的植物名称。

询的详细介绍见本章应用部分。

5. 用结构化查询语言查询数据库

结构化查询语言(SQL)是一种专为关系数据库设计的数据处理语言。IBM 公司于 1970 年开发了 SQL，许多商业数据库管理系统如 ORACLE 已采用这种语言。在使用 SQL 的数据库中存取数据,GIS 用户必须准备以 SQL 编写的查询语句。

SQL 基本语法为：

select <属性清单>

from <关系>

where <条件>

图 9.4 中,查询 **P**101 地块的销售日期的简单 **SQL** 语句为：

select sale date

from parcel

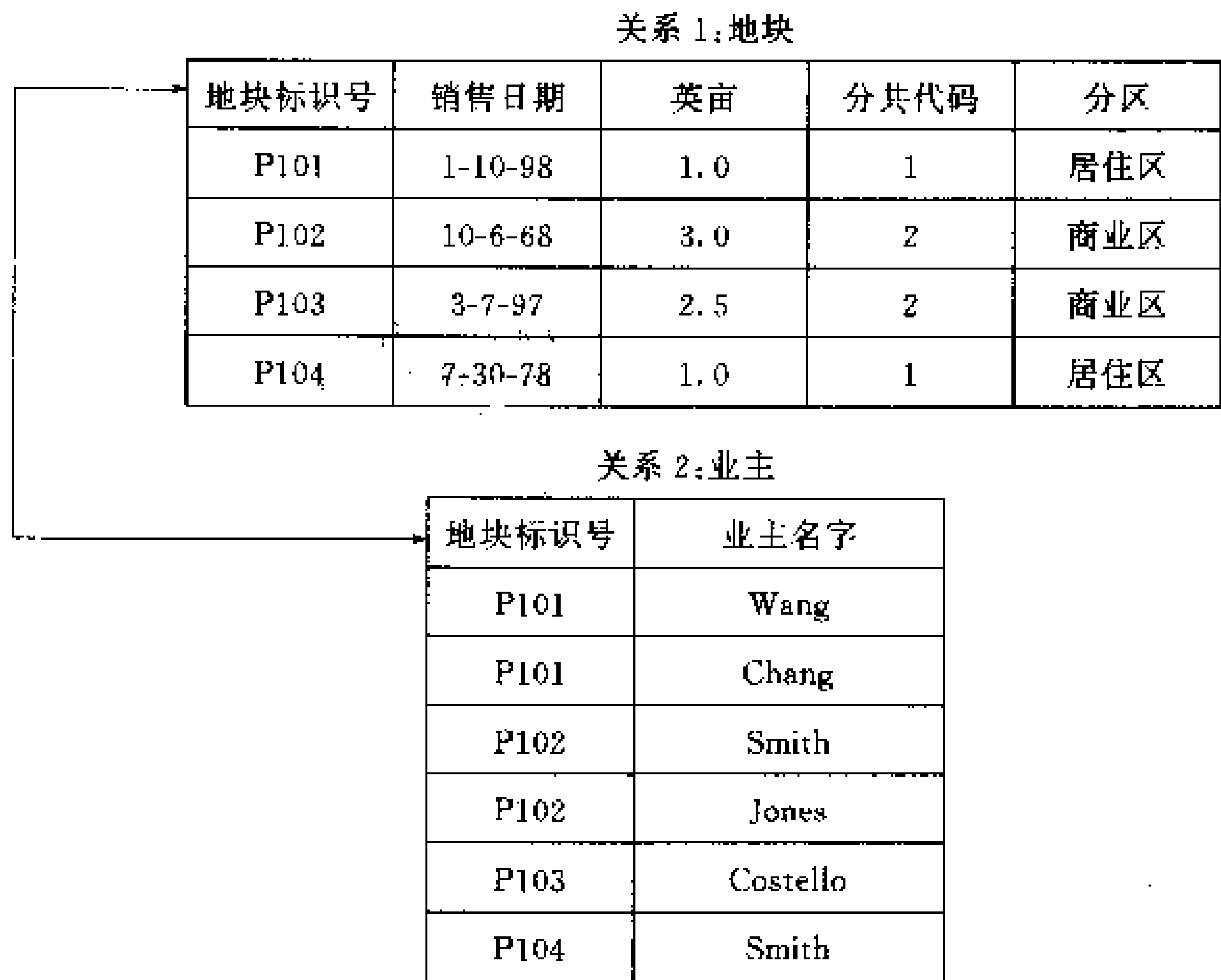
where PIN = “P101”

下列的 SQL 语句是查询 P104 的主人名字(Smith),涉及两个关系(表)和 AND 连接符：

select owner name

from parcel, owner

where parcel. PIN =owner. PIN and PIN = “P104”



关系 1:地块

地块标识号	销售日期	英亩	分共代码	分区
P101	1-10-98	1.0	1	居住区
P102	10-6-68	3.0	2	商业区
P103	3-7-97	2.5	2	商业区
P104	7-30-78	1.0	1	居住区

关系 2:业主

地块标识号	业主名字
P101	Wang
P101	Chang
P102	Smith
P102	Jones
P103	Costello
P104	Smith

图 9.4 关键字 PIN 将地块表格与业主表格关联,使这两个表格都可为 SQL 所用。

注释栏 9.2 包含了更多 SQL 语句的例子。ARC/INFO、ArcView、MGE 和 MapInfo 等 GIS 软件包允许 GIS 用户使用 SQL 查询数据。ArcView 有个名为 SQL Connect 的功能,它以对话来连接外部数据库。对话包括关键字如 select、from、where 和 spaces,以至于用户可键入 SQL 语句。由查询选中的记录可存进 ArcView 的一个表中。ARC/INFO 用 CONNECT 命令链接外部数据库。当数据库连接在 ARC/INFO 中之后,可在命令行键入查询语句。

注释栏 9.2　结构化查询语言语句的更多例子

爱达荷州的国家林地用 Oracle 管理集中式数据库,它通过电话线可接通其护林员管区。尽管由于涉及许多属性,使得用于查询国家林地数据库的 SQL 语句看似复杂,但其语法结构仍然相同。以下为两个查询例子。第一段程序是在一个名为 stand_activities 的表格中查询 sale_name 栏目中有数值的记录。

```
select sale_name, sale_cntr_no, stand_id, sale_unit_no_1, sale_unit_no_2
from stand_activities
where sale_name is not null
```

第二段程序在 sa(stand_activities) 和 sn (sale_names)这两个表格中查询完全满足有关 stand_id, activity_code 和 accomp_year 的三个表达式的记录。

```
select sale_name, stand_id, activity_code, activity_units, accomp_year
from sa, sn
where stand_id between '23200000' and '29400000'
  and activity_code between 4431 and 4432
  and accomp_year is null
```

6. 属性数据统计描述

最小值、最大值、值域、平均值和标准差等统计描述,概括了一个属性的数据值。**值域**为最大值与最小值之差。**平均值**是各数据值的平均。**标准差**是每个数据值与平均值的方差的平方根。用户可将这些统计描述与查询语句一体化,比如选择大于平均值的记录,或至少大于平均值 3 个标准差的记录。ArcView 有个菜单选项,可编辑从属性表选中字段的统计描述。

9.3.2 空间数据查询

空间数据查询是通过地图要素的操作从地图上检索数据的过程。可用指针、图形或地图要素之间的空间关系来选择地图要素。空间数据查询是数据库的地理界面,因此对于那些用属性数据查询难以完成的任务是很有用的,比如,选择毗邻地区。如同属性数据查询,空间数据查询结果可直观检查或存储为新地图以便进一步处理。

1. 由指针选择要素

最简单的空间数据查询是指向要素本身来选地图要素。另一种办法是,由该范围的两个对应点所定义的指定面积范围内选择地图要素。

2. 由图形选择要素

本查询法用圆圈、方框、线或多边形等图形来选择落在图形对象之内或与图形对象相交的地图要素。(图 9.5)。用于选择的图形(称为图形选择器)可用鼠标实时画出。由图形选择要素,类似于探索性数据分析中的刷新。像刷子一样,图形选择器可在计算机屏幕上任意移动,也可作成任意大小或形状。由图形查询的例子有:在一个宾馆的 1mi 半径范围内选择餐馆,选择与所提议的公路相交的地块,在所提议的自然保护区内查找地块的业主。

3. 由空间关系选择要素

这种查询方法选择地图要素是基于这些要素与其他要素的空间关系。要选的地图要素可在同一地图中作为地图要素供选择,也可在不同的地图中。第一种查询类型的例子为:在选定休息区 50mi 半径范围内寻找路旁休息场所。第二种查询类型的例子为:在每个县内找休息场所。这种查询必须有两幅地图:一幅表示县界,另一幅表示路旁休息场所。

用于查询的空间关系如下:

(1) **包含**(containment)——选择完全落在用于选择的要素之内的要素。例子有:在选定的县里查找学校,在选定的州内查找州立公园。

(2) **相交**(intersection)——选择与用于选择的要素相交的要素。例子有:选择与所提议道路相交的地块,查找与活动断层线相交的居民点。

(3) **邻近**(proximity)——选择在用于选择要素的指定距离内的要素。例子有:在州际公路 10mi 范围内查找州立公园,在选定街区 1mi 范围内查找宠物店。如果指定距离为

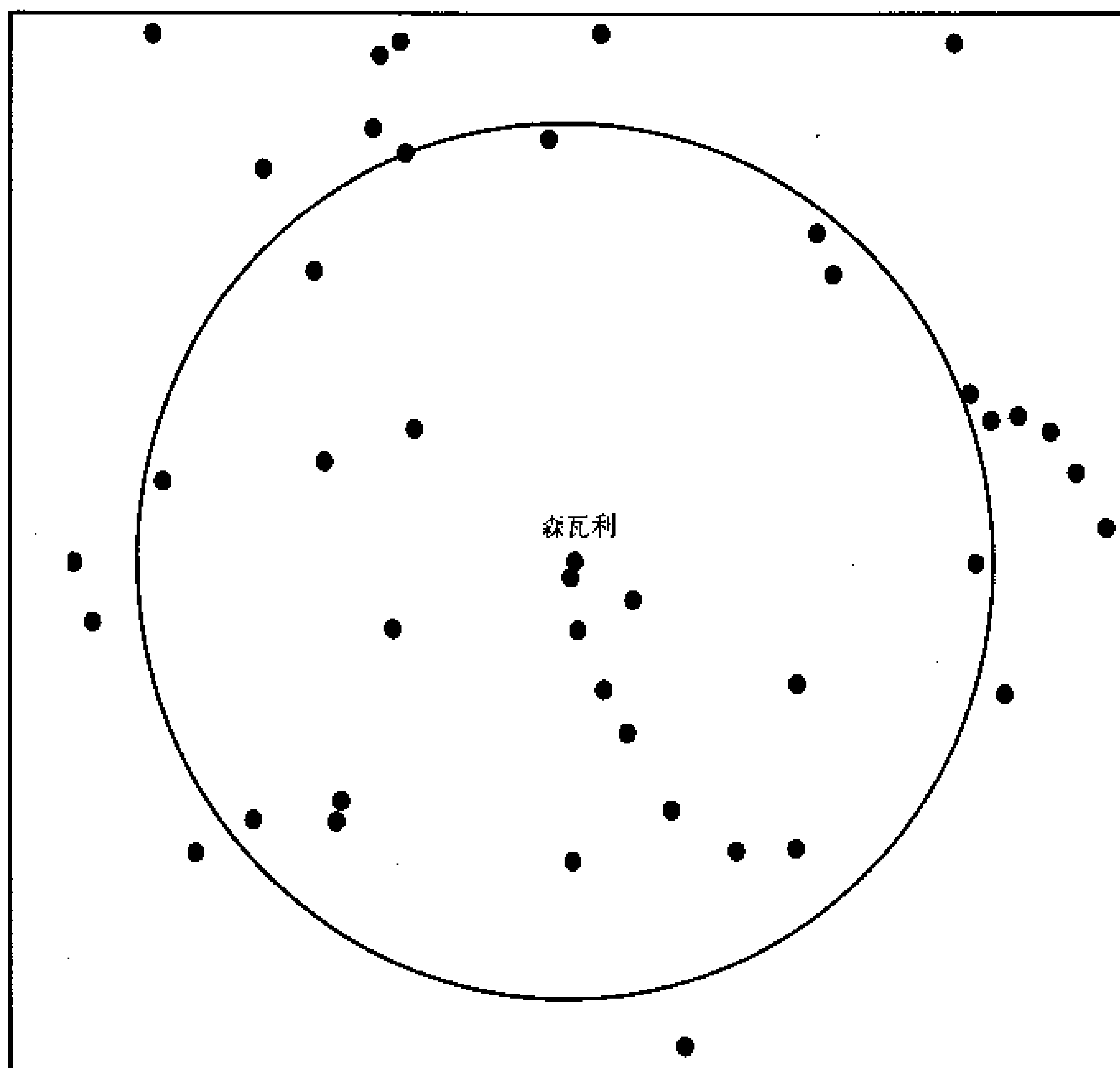


图 9.5　围绕森瓦利(Sun Valley)画一个指定半径的圆。该圆用作图形目标在圈定范围内选择点要素。

0，则变成**邻接**(adjacency)。空间邻接的例子有：选择与洪涝地带邻接的地块，查找与新的主题公园邻接的空地。

在 ArcView 中，空间关系在空间数据查询中的应用见注释栏 9.3。

注释栏 9.3	**ArcView 中空间关系的表达**

ArcView 通过 Theme 对话框的 Select，由空间关系处理要素的选择。对话框要求用户首先确定用于选择的要素，然后制定要选择的要素。从下拉菜单选择的专题(选择器专题)显示用于选择的要素来自何处，激活的专题(目标专题)给出要选择的要素的来源。尽管两套地图要素往往来自不同专题，也可能来自同一专题。六种空间关系表达式连接要选的要素和用于选择的要素：①完全在内(are completely within)；②完全包含(completely contain)；③有其中心点(have their center in)；④包含…的中心点(contain the center of)；⑤相交(intersect)；⑥在…距离内(are within distance of)。前四种表达式涉及包含(containment)关系，后两种涉及相交(intersect)、邻近(proximity)和邻接(adjacency)。一旦指定了"are within distance of"关系，一个输入方框即被添加到对话框。

一个完整的查询表达式为："Select features of active themes that are within distance of the selected features of idroads [name of selector theme]，"(选择激活专题的要素，这些要素位于选定要素 idroads [选择器专题名称]的距离之内)，选择距离为"2"英里。如果选择器专题没有要素被预选，则选择器专题中的所有要素都被用于选择。在查询语句建立之后，用户方可做出 New Set(新数据集)、Add To Set(添加到数据集)或 Select From Set(从数据集选择)等选择。这些查询选择与属性数据查询是一样的。

4. 属性与空间数据查询的结合

至此，我们已经接触了通过属性或空间数据查询进行数据探查。在许多情况下，这两种查询类型都为数据探查所需。例如，在南加州高速公路出口 1mi 内寻找年收入 200 万美元的加油站。假设有了加油站地图和高速公路地图，至少有两种方法可解决这个问题。

(1) 在研究区确定所有高速公路出口的位置，在每个出口处以 1mi 半径画圆。通过空间数据查询在圆圈范围内选择加油站。然后用属性数据查询寻找年收入超过 200 万美元的加油站。

(2) 在研究区确定所有加油站的位置，通过属性数据查询选择年收入超过 200 万美元的加油站。下一步，用空间数据查询缩小对加油站的选择，直到位于高速公路出口处 1mi 以内。

第一方案是先查询空间数据，而后属性数据。第二方案正好相反。假设加油站比高速公路出口处多得多，采用第一方案较好，尤其是加油站必须与其他属性表链接以获取年收入的数据。如上例所示，空间和属性数据查询的结合拓宽了数据探查的可能性。一些 GIS 用户可能将这种数据探查视为数据分析，因为这正是他们的大部分任务所需要做的。

9.4 栅格数据查询

栅格数据可用单元值或图形方法来查询。ARC/INFO 和 ArcView 中的整型格网具有一个数值属性表，在数据管理和查询中，这个表起类似矢量地图中要素属性表的功能。浮点型格网没有数值属性表，查询功能受到较多限制。

9.4.1 由单元值查询

查询格网的通常方法是使用包括单元值的逻辑表达式。例如，表达式[road] = 1，可查询整型道路格网；表达式[elevation]>=1243.26，可查询浮点型格网。因为浮点型高程格网包含连续值，查询特定值不像查找格网中的任一单元。因此，对于浮点型格网在查询表达式中建议采用数字值域。查询表达式将格网中符合要求的单元与不符合要求的单元区分开来。

栅格数据查询也可采用布尔连接符 AND、OR 和 NOT 把单独的表达式连起来。这些单独表达式可应用于整型格网的不同属性。例如，语句 ([anflood]="freq") AND ([wtdepth]< 1)，从土壤格网中选择频繁淹没和地下水位深度小于 1m 的单元。这种查询用浮点型格网是不可能的。

含有单独表达式的混合语句可用于多种格网，可以是整型的，也可以是浮点型的，还可以是两者复合的。例如，语句 ([grid1]=13) AND ([grid2]=3) AND ([grid3]=4)，分别在格网 1、格网 2、格网 3 中选择数值为 13、3 和 4 的单元。由单元值查询多个格网是栅格数据所独有的。对于矢量数据，用在复合表达式中的属性必须是在同一个属性表中。

9.4.2　用图形方法查询

格网查询可将指针指向一个单元来辨别其位置和数值。指针可以是图形对象如圆、正方形或多边形。落在图形对象中的单元数值随后可显示在柱状图中。ArcView 提供有柱状图按钮，如果是整型格网，是以惟一的单元值显示柱状图，若是浮点型格网，则以数字值域显示。

9.5　统　计　图

统计图是探索性数据分析的基本工具。由属性表制备的统计图可以显示在与地图和表格分开的单独视窗中。因为统计图与地图和表格是动态链接的，属性数据查询可同时加亮表格中选中的记录，地图中相应的特征，以及统计图中选中记录的位置。

ArcView 的统计图性能有限。首先，一个字段的统计图(如柱状图)的最大默认记录数为 100，两个字段的统计图(如散点图)为 50。其次，统计图的选择局限于一两个数据集的显示。ArcView 不能用于多维数据的显示。最后，与统计图的人机交互仅限于两种工具："消除"(erase)和"用多边形消除"(erase with polygon)。"消除"工具允许用户在统计图中去除数据点，一次去除一点。"用多边形消除"工具仅可用在散点图，允许用户在一个指定多边形内去除多个数据点。

SAS、SPSS、SYSTAT、S-PLUS(现为 Insightful)和 Excel 等商业化统计分析软件包比 GIS 软件提供了更多统计图工具。因此，用统计图探查数据的一种方法是，把数据文件从 GIS 导出到统计分析软件包(Scott　1994)。S-PLUS for ArcView 是 MathSoft 公司(http://www.insightful.com/)的软件产品，它使 GIS 用户能把表格式数据从 ArcView 移到 S-PLUS，而后把图形和分析结果返回给 ArcView。新近研究表明，在 GIS 中可用宏程序(Batty 等 1994)或通过将 GIS 链接到专为空间数据分析而编写的软件(Walker 等 1988，Haslett 等　1990，Anselin　1999)，来增强探索性数据分析。

9.6　地理可视化

MacEachren (1995)用**地理可视化**这个术语来描述地图在建立视觉信息处理背景下的用途，视觉信息处理可清晰表达所研究问题或设想。因此，地理可视化具有与探索性数据分析同样的目的。本节包括地理可视化的四种方法：数据分类、空间集合、一视图中的多地图，以及地图比较。

9.6.1　数据分类

数据分类大概是地图操作中最常用的方法。该方法对于数据可视化以及创建新的属性表和新的地图都很有用。

1. 用于可视化的数据分类

分类是用一种分类方法和许多类型来集合数据和地图要素(注释栏 9.4)。改变分类方法和类型数目,同样的数据可产生不一样的地图,具有各自的空间模式。分层设色地图是各种地图类型中受分类影响最大的一种。地图编制者经常从同一种数据做出多种版本的分层设色地图,并选出其中有代表性的一种(一般是类型的空间组织较好的)作为最终的地图产品。对于数据探查,在用某些描述性统计对空间数据作划分方面,分类是最有用的。

注释栏	数据分类方法

GIS 软件中可用的数据分类方法包括以下六种:等间距、等频率、等面积、平均值与标准离差、自然分割点和用户定义。等间距在分类中使用一个恒定类型间距。等频率又称分位数,它把数据值的总数目除以类型数,保证每个类型含有相同数目的数据值。等面积是把地图面积除以类型数,保证每个类型分摊有相同面积。平均值和标准离差以大于或小于平均值的标准离差单位来设立类型分割点。自然分割点法是在分类中考虑数据值的分组。自然分割点法的典型作法,是用一种算法使同类型中的数据值差异最小而类型之间的差异最大。用户定义法是由用户选择适合的或有意义的类型分割点,例如,在各州人口变化率的制图中,用户可选择 0 或全国平均值作为类型分割点。

假设我们想探究美国各州 1997 年的失业率。为了获得对数据的基本印象,我们可以根据全国平均数将失业率分为两类:全国平均值之上和之下(图 9.6a)。尽管很一般化,该地图上把全国分割成连片的地区,它提示的因素可解释为什么一些州比另一些州失业率低。

我们可用平均值和标准差进一步离析高于或低于全国平均值的州。图 9.6b 显示用平均值和标准差分类的结果。现在我们可集中关注那些高于平均值 1 倍标准差的州。

作为数据探查的工具,通过链接分类地图与未用于分类的其他要素,数据分类可提供附加的信息。假设各州中产阶级收入所占百分比变化也是一种可用属性,我们可看到低失业率的州是否趋向于有较高的收入增长率,反之亦然。

2. 用于生成新数据的数据分类

如第 6 章所述,对于矢量地图可以通过选择数据子集(即根据分类方案落在一个类型的记录)并对选中的数据子集赋值,来生成新的属性数据。

由分类生成新的栅格模型通常称为**再分类**、再编码或通过查找表转换(Tomlin 1990)。可运用两种数据再分类方法:第一种方法是一对一改变,即输入格网中的一个单元值在输出格网中被赋予一个新值。例如,在土地利用格网中的灌溉农地在输出格网中赋值 1。第二种方法是在输入格网中对一列单元值赋予新值。例如,在人口密度格网中人口密度为每平方英里 0~25 人的单元在输出格网中被赋值为 1。

这两种再分类方法均可用于整型格网。另一方面,对于浮点型格网,只能通过对输入格网的单元值范围赋予新值来作再分类。例如,将 2 赋予坡度值为 10.0%和 20.0%之间的单元。浮点型格网的再分类结果为整型格网。





图 9.6 上图表明 1977 年的失业率，分为全国平均水平 4.9%以上和以下。下图是用平均值和标准差(SD)作为数据分类。

在数据探查和数据分析中，栅格数据的再分类是一个重要功能。它具有以下用途：

(1) 数据简化：再分类能组成连续坡度值，例如，分成一系列类型，1 代表坡度为 0.0～10.0%，2 代表坡度为 10.0%～20.0%，依此类推。

(2) 数据分离：再分类能生成包含惟一类别或数值(比如，灌溉农地或坡度在 10.0%～20.0%数值范围)的新格网。

(3) 数据排序：再分类能生成新的格网来表示输入格网单元值的排序结果。例如，再分类结果可表示 1～5 的排序，1 为最不适宜，5 为最适宜。

ArcView 中的 RECLASSIFY 功能执行再分类。对话框除提供上述提到的两种再分类方法外，第三种方法是用输入格网的一个字段值作为查找表。

9.6.2 空间集合

空间集合除了它是对数据进行空间组合外，类似于数据分类。图 9.7 表示以州和大区

为单位的美国人口变化百分数。大区是州的集合，因此给出了该国人口增长的概观。图9.7采用美国人口普查局为数据收集而划定的两个层次的地理单元，其他层次还有县、普查区、街区组和街区等。这些层次的地理单元形成层次等级，我们可从较低层次到较高层次集合数据。在不同层次显示集合数据提供了具有空间比例缩放效果的视图。

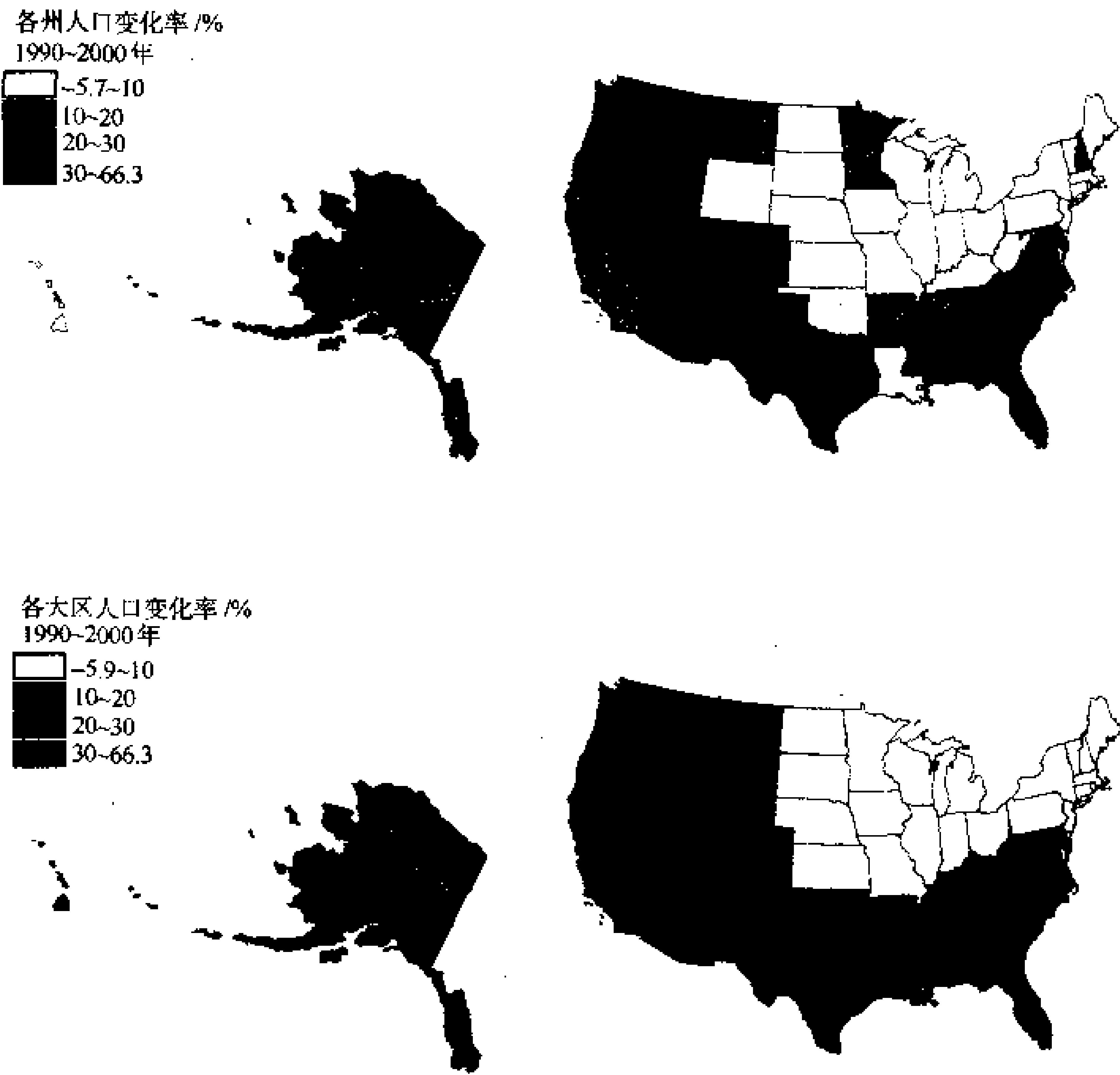


图9.7 上图表示1990～2000年期间各州人口变化百分数。图例越暗，增加的百分数越高。下图表示大区的人口变化百分数。

如果距离是研究中的主要因子，空间集合可基于点、线和面的距离量测。例如，一个城区可集合成距市中心和街道的不同距离带(Batty 等 1994)。不同于人口普查地理，这些距离分带要求另外的数据处理。首先，距离分带必须用邻近(proximity)或建立缓冲区(buffering)来确定。然后，距离分带必须用人口普查数据底图套叠；对不同距离分带，数据必须再编辑。

对于栅格数据，空间集合意味着制备一个较粗分辨率的格网，并计算较大单元的数值。例如，一个格网的单元可以3为因子集合生成一个简化格网。输出格网中的每个单元由一个3×3矩阵构成，单元值为由9个输入单元值计算的统计值（如平均值、中位数、最小值、最大值或总和）。

9.6.3 地图比较

地图比较有助于GIS用户挑选出地图所展现的不同专题数据之间的关系。例如，植被图显示野生生物位置可揭示野生生物种类和植被类型之间的联系(图9.8)。当要比较的地图仅仅由点或线要素组成，该地图可用不同颜色编码，并以单独视图相互添加。但是，如果要比较的地图由多边形或栅格数据组成的话，这一过程无法进行。表示失业率的地图

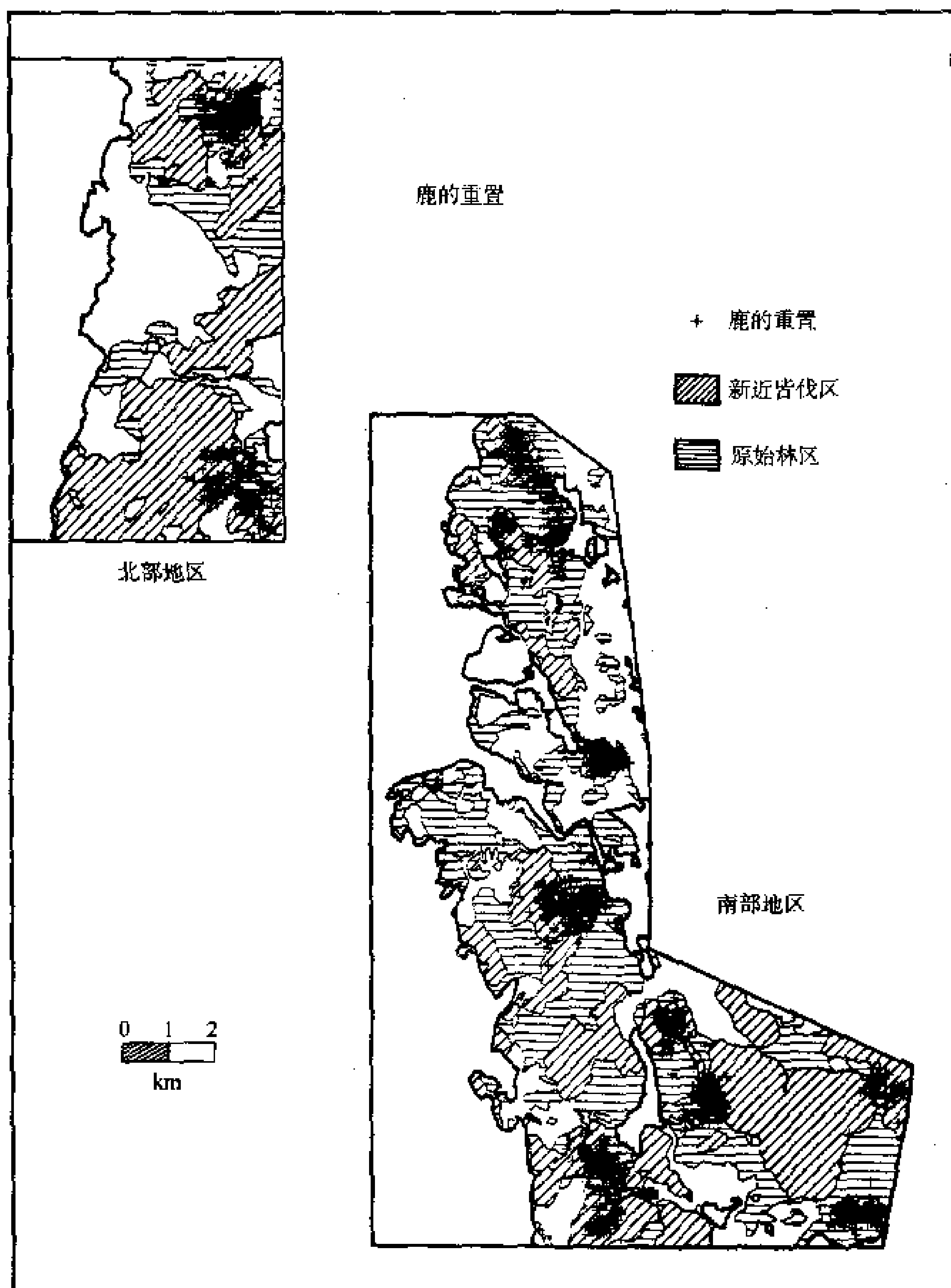


图9.8 在数据查询中使用多幅地图的例子。在阿拉斯加东南部鹿的重置视图中，关注沿着皆伐区(clearcut)与原始林边缘的鹿重置分布。

不能添加在表示收入变化率的地图之上，除非这两幅地图都为半透明薄膜。

比较多边形或栅格数据有三种选择。第一种选择，把所有多边形和栅格地图与点和线地图一起放到屏幕上，打开或关闭多边形和栅格地图使之每次只看到其中一幅。

第二种选择是打开两张或更多视图，以至于一幅以上的多边形和栅格地图可被同时看见。这种选择对于观察时间变化很有用。例如，研究区 1970 年、1980 年和 1990 年的土地覆被图可置于单独的视图，使用户能观察到随时间的变化。采用多视图的办法与用散点图矩阵相似(Cleveland 1993)。不同点在于一幅地图只能表示一套数据，而散点图可点绘两三个变量。用多时序地图，可使地图生动地表示连续变化(DiBiase 等 1992，Weber 等 1993，Peterson 1995)。

第三种选择是用地图符号表示两个多边形专题的数据。这种选择的方法之一是采用制图学的点状符号，比如柱状图。每个多边形放置一个柱状图，每个柱状图有两个或更多柱条，例如表示两年或更多年份木材采集量的比较。另一种方法是双变量分层设色地图(Meyer 等 1975)。双变量分层设色地图把两种色彩方案组合在一起，每种色彩代表一个变量。例如，表示失业率的黄至红色色阶可与表示收入变化率的黄至蓝色色阶组合在一起，产生一幅失业/收入变化的双变量地图。但是如果每个变量分作四个类型，该双变量地图将有 16 种颜色符号，而且在混合色彩符号之间缺乏逻辑级数是个问题(Olson 1981)。双变量地图可读性的一个明显改进，是减少每个变量的类型数。例如，图 9.9 把失业率和收入变化率分为高于或低于全国平均水平，而后在一幅地图上表示两个变量的组合。

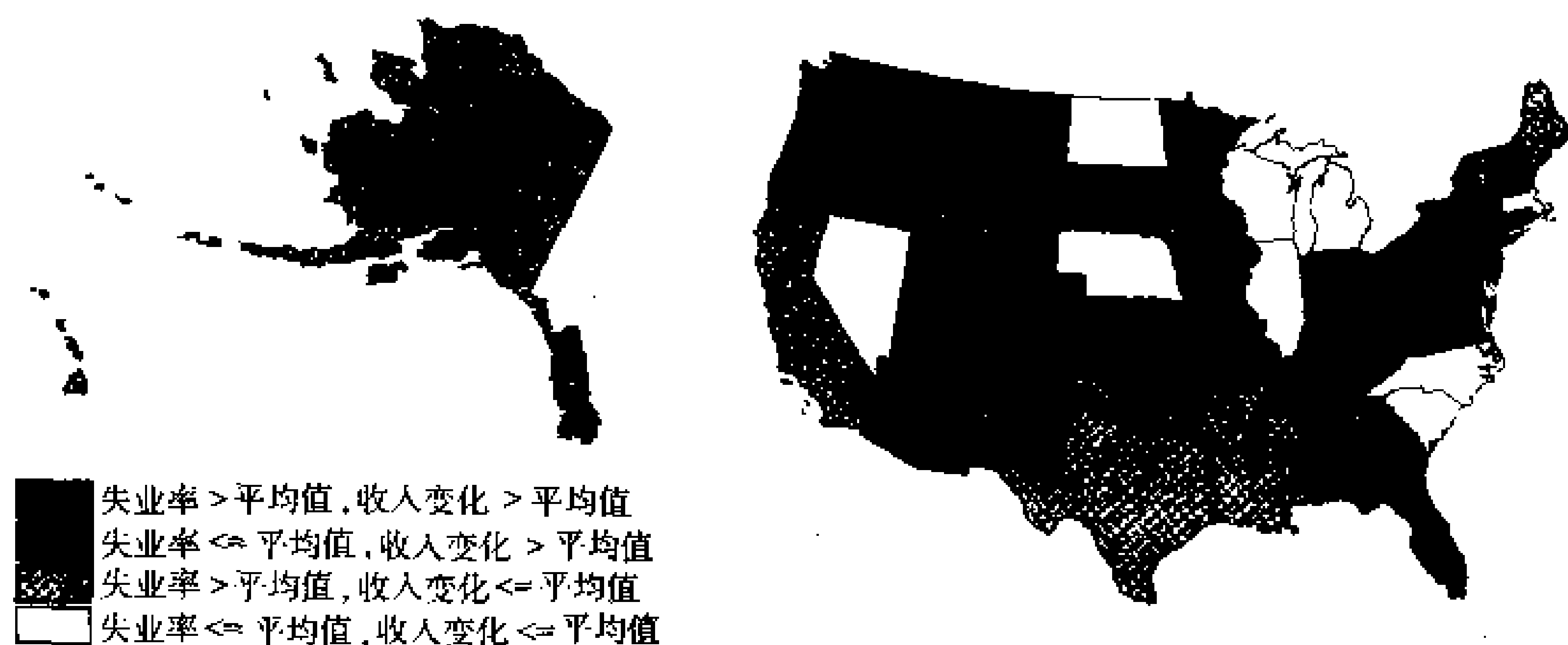


图 9.9 双变量地图说明以下变量的组合：(1)1997 年的失业率，高于或低于全国平均值；(2) 1996～1998 年的收入变化率，高于或低于全国平均值。

重要概念和术语

布尔连接符：诸如 AND、OR、XOR 或 NOT 等关键字，用于构建复杂的逻辑表达式。

包含：一种空间关系，在数据查询中用于选择完全落在指定要素内的那些要素。

标准差：数据离差的度量，定义为每个数据数值与平均值的方差的平方根。

动态图形：一种数据探查方法，用户可直接对动态链接的多个视窗中显示的统计图和图解的数据点进行操作。

地理可视化：一种以视觉表现方式显示地理数据的方法，建立视觉信息处理背景，导致研究问题或设想的清晰表达。

关系数据库查询：在关系数据库中的查询，它不仅选择一个表格中的数据子集，而且在其他表格中选择与该数据子集有关的记录。

结构查询语言：为关系数据库设计的数据查询和操作语言。

空间数据查询：通过对地图要素的操作，从地图上检索数据的过程。

邻接：一种空间关系，可用于选择具有共享边界的要素。

邻近：一种空间关系，可用于选择落在与指定要素一定距离内的要素。

逻辑表达式：一种字段、数值和逻辑运算符的组合，比如“class = 2”，从中可得出为“真”或为“假”的估计。

平均值：一个数据集中所有数值的平均。

属性数据查询：通过对地图属性数据的操作，从地图检索数据的过程。

刷亮：用于选择和加亮在多视图中数据子集的一种数据探查技术。

数据探查：以数据为中心的查询和分析。

探索性数据分析：采用各种技术如统计图、图解和散点图来查验数据，作为统计分析的第一步。

相交：一种可用于数据查询的空间关系，它选择与指定要素相交的要素。

再分类：对输入格网的单元值再分类，以生成新格网的过程。

值域：一个数据集中最大值与最小值之差。

应用：数据探查

本章应用部分包括5个习作：习作1介绍在ArcView中数据探查的概况，包括概要统计的应用、由图形选择要素和制作统计图；习作2和习作3探讨属性数据查询；习作4为空间数据和属性数据的组合查询；习作5涉及栅格数据查询。

习作1　ArcView中的数据探查综览

所需数据：idcities.shp，含有爱达荷州的654个地点；idcounty.shp，表示爱达荷州的县界；snowsite.shp，含有爱达荷州及其周边各州的206个滑雪站。

习作1围绕在爱达荷州森瓦利(Sun Valley)40mi范围内查找好的滑雪场问题。本习作旨在使你熟悉用ArcView作数据探查的几个方面：导出概要统计、由图形选择要素、生成统计图。以下包含了数据探查的每个方面。

导出概要统计

1. 启动ArcView，打开一个新视图，加载idcities.shp，idcounty.shp和snowsite.shp。这三个专题图层都是基于爱达荷全州范围坐标系统，并以米为单位。从View下拉菜单选择Properties。在View Properties对话框中，把地图单位设为米，把距离单位设为英里。
2. 激活snowsite.shp，从Theme下拉菜单选Table打开snowsite.shp的属性表。在snowsite.shp专题属性表中，点击Swe-max字段使之激活。然后从Field菜单中

选择 Statistics(统计)。Swe-max 代表最大雪水量。

用图形选择地图特征

1. 激活 idcities.shp 专题图层。点击 Query Builder 按钮。建立查询表达式为[City name]= "Sun Valley"并点击 New Set。按 Zoom To Selected 按钮,再按 Zoom In 按钮缩放环绕森瓦利(Sun Valley)的区域。
2. 按住 Draw Point 工具,从下拉菜单中选 Draw Circle。
3. 围绕森瓦利(Sun Valley)画一个圆,并用这个圆作为图形来选择圆圈内的滑雪站。尽量靠近森瓦利位置点击,并将指针拖至形成一个半径为 40mi 的圆。如果一直不能得到准确的 40mi,也可从 Graphics 菜单中选择 Size/Position 并键入 40mi 为半径值。
4. 现在选择落在圆圈内的滑雪站。确认 snowsite.shp 为激活状态,点击 Select Features Using Graphics 按钮。这些选中的滑雪站被加亮。
5. 从 Theme 下拉菜单中选择 Table。点击 Promote 把加亮的记录(即被选中的滑雪站)移至表格上部。

制作统计图

1. 当 snowsite.shp 表格和选中的记录仍处于激活状态时,点击 Create Chart 按钮。习作 1 的这部分引导你如何利用上一步选中的滑雪站数据制作统计图。
2. 在 Chart Properties 对话框中,作下列操作:把该统计图重命名为 Swe-max,点击 Swe-max 作为 Field,点击 Add 把 Swe-max 移至 Group,把 Label Series 改设为 Swe-max,点击 OK。该统计图基本是一个柱状图,表示选中每个滑雪站的最大雪水量。用 Elev 字段作另一幅统计图。Elev 以英尺为单位列出这些滑雪站的高度。
3. 你可制作一幅散点图来看 Swe-max 和 Elev 之间的关系。点击 Create Chart 按钮打开一个新统计表。把 Swe-max 和 Elev 添加到组内。
4. 点击 xy Scatter Chart Gallery 按钮打开散点图选项。选择左上带有 x 和 y 线性比例变换的选项并点击 OK。其他的选项是基于 x 或 y,或 x 和 y 的对数比例变换。散点图表示 Swe-max 和 Elev 之间存在正相关关系:滑雪站越高,最大雪水量可望越大。

习作 2 属性数据查询

所需数据:wp.shp,植被群丛图层文件;wpdata.dbf,含有 wp.shp 的林分数据的 dBASE 文件。

如本章所阐述的,查询或数据选择是数据探查最重要的因素。无论是从属性数据或空间数据途径,查询结果被显示于视图、表格和统计图的链接视窗中。习作 2 关注于属性数据查询。

1. 启动 ArcView,打开一个新视图,添加 wp.shp 于视图中。打开 wp.shp 专题属性表。
2. 激活 Project 视窗。点击 Tables 和 Add,弹出 Add Table 对话框。确认文件类型为

dBASE。双击选择 wpdata.dbf。

3. 至此，你已打开两个表格：专题属性表（wp.shp 的属性）和 wpdata.dbf。把 wpdata.dbf 的数据加到专题属性表的步骤如下：点击 wpdata.dbf 中的 Id，点击 wp.shp 专题属性表中的 Id，然后点击 Join 按钮合并两个表格。Id 是关联两个表格的关键字。
4. 确认 wp.shp 专题属性表包含了来自 wpdata.dbf 的属性数据并处于激活状态。点击 Query Builder 按钮打开 Query Builder 对话框。对话框上部从左到右表示 wp.shp 属性表中的字段、逻辑运算符、布尔连接符和所选字段的值。注意每个字段名都有方括号。对话框下部左侧有逻辑表达式的显示区，右侧有不同查询方法的三个按钮，分别是 New Set、Add To Set 和 Select From Set。New Set 从专题属性表中选择一个新的数据子集。Add To Set 添加一个新的数据子集到先前选中的记录。Select From Set 从先前选中记录中选择一个新的数据子集。
5. 在 Query Builder 对话框中双击 Origin 字段，点击">"运算符，并双击 0 值，逻辑表达式（[Origin]>0）出现在显示区。这是第一个逻辑表达式。点击连接符 AND，双击 Origin 字段，点击 <= 运算符，并键入 1900 完成第二个逻辑表达式。完整的逻辑表达式应该是：([Origin] >0) AND ([Origin]<=1900)。现在点击 New Set。专题属性表中满足逻辑表达式的记录被加亮。ArcView 视窗的左上角显示"175 of 856 selected"(从 856 个中选中 175 个)。不要离开 Query Builder 对话框，因为你将进一步用它作查询运算。
6. 字段 Origin 表示在一个群丛中树木的由来，以树木种植的年份表示。数值为 0 意指由来未知。因此，在第五步骤中的逻辑表达式选择树龄至少 100 年的群丛。点击 Promote 按钮，把选中的记录移到专题属性表上部。检查所选中记录的值，看是否有 1900 年以后种植的。现在查看地图，加亮的多边形对应于所选中的记录。
7. 最后，通过把坡向包含进来作为附加指标，缩小所选记录的范围。回到 Query Builder 对话框，拖拽并加亮外括号之间的逻辑表达式，将其删除。构建以下逻辑表达式：([As]= "N") OR ([As]="NE") OR ([As]="NW")。接着点击 Select From Set。选中记录的数目显示在 ArcView 视窗的左上角，数目已由 175 减降至 44。减少的数据子集表明其仅仅是种植悠久的群丛但不在北、北东和北西坡向。你还可核实所选中记录确实均满足由来和坡向两个指标。在地图上查看这些群丛的位置。

习作 3　关系数据库查询

所需数据：mosoils.shp，一个土壤图层文件；comp.dbf 、forest.dbf 和 plantnm.dbf，三个引自国家地图单元解译记录(MUIR)的 dBASE 文件。

习作 3 让你用 MUIR 数据库进行操作。通过数据库中表格的适当链接，你可从任何表格探查数据库中的许多土壤属性。而且，由于表格与土壤图是链接的，你也能看见所选中记录的位置。

1. 启动 ArcView，打开一个新视图，把 mosoils.shp 添加到视图。打开 mosoils.shp 的专题属性表。

2. 接着，把 dBASE 文件加到计算机屏幕。激活 Project 视窗。点击 Tables 和 Add。浏览找到这三个 dBASE 文件并把它们加到表格中。至此屏幕上应有四个表格和土壤图。将其排列好，以便于对其进行操作。
3. 下一步是链接这些表格。思路是将这四个表格动态链接而不是合并。将两个表格链接时，需要知道哪个字段作为关键字。如本章所述及，musym 可链接专题属性表和 comp. dbf，muid 可链接 comp. dbf 和 forest. dbf，plantsym 可链接 forest. dbf 和 plantnm. dbf。表格链接是有方向性的，从源表到目标表。在数据探查中，你想要从任一表格搜寻土壤属性，因此，在每两个表格之间需要完成两次链接。分别点击专题属性表和 comp. dbf 中的 musym，并从 Table 菜单选择 Link。然后以相反方向重复同样过程：分别点击 comp. dbf 和专题属性表中的 musym，并从 Table 菜单选择 Link。至此，你已经完成了专题属性表和 comp. dbf 之间的双向链接。在 comp. dbf 和 forest. dbf，之间，以及 forest. dbf 和 plantnm. dbf 之间以同样方法操作。
4. 在这里，四个表格均是以双向链接的。本章里提到的一个问题：在每年洪涝频率为频繁和偶发的地方可发现何种类型植物。现在可按以下操作来回答这一问题。激活 comp. dbf。点击 Query Builder 按钮。在 Query Builder 对话框，准备好查询表达式为([Anflood] ="FREQ") OR ([Anflood]="OCCAS")，并点击 New Set。在 comp. dbf 中满足以上指标的记录被加亮，在其他三个表格中的相应记录和土壤图中相应多边形也同时被加亮。你可看到频繁或偶发洪涝的位置和共同的植物种名。
5. 用这些表格可尝试作其他查询。点击 Select None 按钮以清除已选中记录。现在，激活 plantnm. dbf 并点击 Query Builder 按钮。准备查询表达式为([Comname]="lupine")。点击 New Set。plantnm. dbf 中选中的记录与其他表格中相应的记录被加亮。你也能在地图中看见羽扇豆(lupine)分布的地方。

习作 4　空间数据与属性数据的组合查询

所需数据：thermal. shp，具有 899 个热井和泉眼的图层文件；idroads. shp，表示爱达荷州的主要道路。

习作 4 假设：某公司要求你为爱达荷州确定温泉胜地的可能地点。

温泉必须位于主要道路 2mi 范围内。

温泉的温度必须高于 60℃。

thermal. shp 中的字段类型用 s 表示泉眼，用 w 表示热井。字段 temp 表示水温(℃)。

1. 启动 ArcView，打开新视图，添加 thermal. shp 和 idroads. shp 到视图中。从 View 下拉菜单中选择 Properties。在 View Properties 对话框中，设地图单位为 m，距离单位为 miles。thermal. shp 和 idroads. shp 都以 m 作为地图单位。
2. 激活 thermal. shp 专题图层。从 Theme 下拉菜单点击 Select By Theme。在该对话框中，将查询语句设定为："Select features of active themes that Are Within Distance Of the selected features of idroads. shp，"(选择激活专题的要素，这些要素位于 idroads. shp 所选要素的距离范围之内)，并将 Selection Distance 定为

2mi。点击 New Set。这些加亮的温泉和热井即是位于爱达荷州主要公路 2mi 范围之内的。

3. 下一步，用第二个指标缩小地图要素的选择范围。从 Theme 下拉菜单选择 Tables。用 Promote 把已选中记录移到表格上部。点击 Query Builder 按钮。准备好查询表达式：([Type]= "s") AND ([Temp]>60)。由于想从先前选中的记录中再做选择，因此点击 Select From Set。离开 Query Builder 对话框。
4. 再用 Promote 把选中的记录移到表格上部。所选中的 15 个记录的 Type 值应都是表示温泉的 s，且 Temp 值应都大于 60。实际上，所选记录之一的名称为"Zim's Resort，"是一个已经开发成旅游度假胜地的温泉。地图显示这 15 个温泉所在的位置。
5. 如本章所述，本习作也可以这样来完成：先通过属性数据查询选择水温高于 60℃ 的温泉，再通过空间数据查询选择距主要公路 2mi 之内的温泉。最终答案应是一致的。

习作 5 栅格数据查询

所需数据：坡度格网文件 slope_gd；坡向格网文件 aspect_gd。

习作 5 要说明查询单一格网与多个格网的不同方法。

1. 启动 ArcView，加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图，把 slope_gd 和 aspect_gd 加入视图。Slope_gd 具有如下以度表示的坡度类型：1(0～10)、2(10～20)、3 (20～30)和 4 (30～40)。Aspect_gd 具有如下坡向类型：1 (平地)、2 (北)、3 (东)、4 (南)和 5 (西)。
2. 从 View 下拉菜单选择 Properties，并把地图单位设为米，距离单位设为公里。先用图形法查询 slope_gd。点击 Draw Circle 工具，然后在 slope_gd 中点击一个点，拖动光标而成半径为 1.5km 的圆。如果反复多次未能得到准确的 1.5km，也可从 Graphics 菜单中选择 Size/Position 并输入半径值为 1.5km。
3. 点击 Histogram 按钮。柱状图表明单元值及其在该圆圈范围内的频率。你也可点击 Identify 工具，然后点击单元值的柱形图来查找其准确的频率(计数)。激活圆圈并在 Edit 菜单中选择 Delete Graphics 以去除圆圈。
4. Map Query 是由单元值查询格网的工具。从 Analysis 下拉菜单选择 Map Query。在 Map Query 1 对话框中，设定查询表达式为：([Slope_gd] = 2.AsGrid)。AsGrid 之请求是自动添加到表达式的。点击 Evaluate。目录表中的 Map Query 1 显示坡度为 10°～20°之间的地区为真。
5. Map Query 也可查询 slope_gd 和 aspect_gd 以寻找坡度处于 10°～20°之间且为南坡的地区。从 Analysis 下拉菜单选择 Map Query。在 Map Query 2 对话框中，设定查询表达式为：([Slope_gd] = 2. AsGrid) AND ([Aspect_gd] = 4.AsGrid)。点击 Evaluate。Map Query 2 显示满足以上逻辑表达式条件的地区。
6. 为把地图查询的结果存盘，需先激活所要存储的输出结果，然后从 Theme 下拉菜单选择 Save Data Set。在弹出的对话框中，指定存储该数据集的名称和路径。

参考文献

Anselin, L. 1999. Interactive Techniques and Exploratory Spatial Data Analysis. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. MaGuire, and D. W. Rhind (eds.). *Geographical Information Systems*, 2d ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 253—266.

Batty, M., and Y. Xie. 1994. Modelling Inside GIS: Part 1. Model Structures, Exploratory Spatial Data Analysis and Aggregation. *International Journal of Geographical Information Systems* 8: 291—307.

Becker, R. A., and W. S. Cleveland. 1987. Brushing Scatterplots. *Technometrics* 29: 127—142.

Cleveland, W. S. 1993. *Visualizing Data*. Summit, NJ: Hobart Press.

Cleveland, W. S., and M. E. McGill, eds. 1988. *Dynamic Graphics for Statistics*. Belmont, CA: Wadsworth.

Cressie, N. A. C. 1993. *Statistics for Spatial Data*, revised edition. New York: John Wiley & Sons.

DiBiase, D., A. M. MacEachren, J. B. Krygier, and C. Reeves. 1992. Animation and The Role of Map Design in Scientific Visualization. *Cartography and Geographic Information Systems* 19: 201—214, 265—266.

Haslett, J., G. Wills, and A. Unwin. 1990. SPIDER—— An Interactive Statistical Tool for The Analysis of Spatially Distributed Data. *International Journal of Geographical Information Systems* 3: 285—296.

MacEachren, A. M. 1995. *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*. New York: The Guilford Press.

Meyer, M. A., F. R. Broome, and R. H. J. Schweitzer. 1975. Color Statistical Mapping by the U. S. Bureau of the Census. *American Cartographer* 2: 100—117.

Monmonier, M. 1989. Geographic Brushing: Enhancing Exploratory Analysis of the Scatterplot Matrix. *Geographical Analysis* 21: 81—84.

Olson, J. 1981. Spectrally Encoded Two-Variable Maps. *Annals, Association of American Geographers* 71: 259—276.

Peterson, M. P. 1995. *Interactive and Animated Cartography*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Scott, L. M. 1994. Identification of GIS Attribute Error Using Exploratory Data Analysis. *The Professional Geographer* 46: 378—386.

Tomlin, C. D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.

Tufte, E. R. 1983. *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, CT: Graphics Press.

Tukey, J. W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading, Mass: Addison-Wesley.

Walker, P. A., and D. M. Moore. 1988. SIMPLE—— An Inductive Modeling and Mapping Tool for Spatially-Oriented Data. *International Journal of Geographical Information Systems* 2: 347—363.

Weber, C. R., and B. P. Buttenfield. 1993. A Cartographic Animation of Average Yearly Surface Temperatures for the 48 Contiguous United States: 1897—1986. *Cartography and Geographic Information Systems* 20: 141—150.

第10章　矢量数据分析

10.1 引　　言

GIS 分析的范围依 GIS 应用领域而异。水文学领域的 GIS 用户可能强调地貌分析和水文模拟的重要性，而从事野生生物管理的 GIS 用户则更感兴趣于涉及野生生物点位与环境关系的分析功能。这就是 GIS 公司用两种通用方法包装 GIS 产品的原因。一种是准备一套为大多数 GIS 用户所用的分析工具，另一种是准备了专为特殊应用(如水文模拟)而设计的模块或扩展模块。作为本书有关数据分析若干章的第 1 章，本章将述及矢量数据分析的基本分析工具。

矢量数据模型用点及其 x、y 坐标来构建点、线和多边形的空间特征。因此，矢量数据分析是基于点、线和多边形的几何对象，且分析结果的精确性取决于这些对象的位置和形状的精确性。矢量数据可以是有拓扑关系的，也可以是非拓扑关系的。因此，拓扑关系也是某些矢量数据分析中的一个因素。

本章共分四部分。第一部分涉及缓冲及其应用。第二部分讨论地图叠加、叠加类型和叠加问题。第三部分包括点与点之间和点与线之间距离测量的工具。第四部分包括了地图处理工具。必要时，用 ArcView 和 ARC/INFO 举例。

10.2 缓　　冲

基于邻近(proximity)的概念，缓冲把地图分为两个区域：一个区域位于所选地图要素的指定距离之内，另一个区域在指定距离之外。在指定距离之内的区域称为缓冲区。

为了缓冲而选的地图要素可以是点、线或面(图 10.1)。围绕点的缓冲形成圆形缓冲区。围绕线的缓冲形成一系列长条形缓冲带。围绕多边形的缓冲形成由多边形边界向外延伸的缓冲带。

还有一些不同于图 10.1 中缓冲类型的变异。缓冲距离不需为常数，可根据指定字段的数值而异。例如，沿河流干流可以用 200m 来缓冲，而沿支流则用 100m 来缓冲(图 10.2)。地图要素还可以多于一个缓冲带。例如，一个核电站可以用 5mi、10mi、15mi 和 20mi 作缓冲，这样环绕该核电站便形成多环带(图 10.3)。围绕线状要素的缓冲不需在线的两侧都有缓冲区，如果该线有拓扑关系，可以只在左侧或右侧建立缓冲区。缓冲带的边界可以保留完

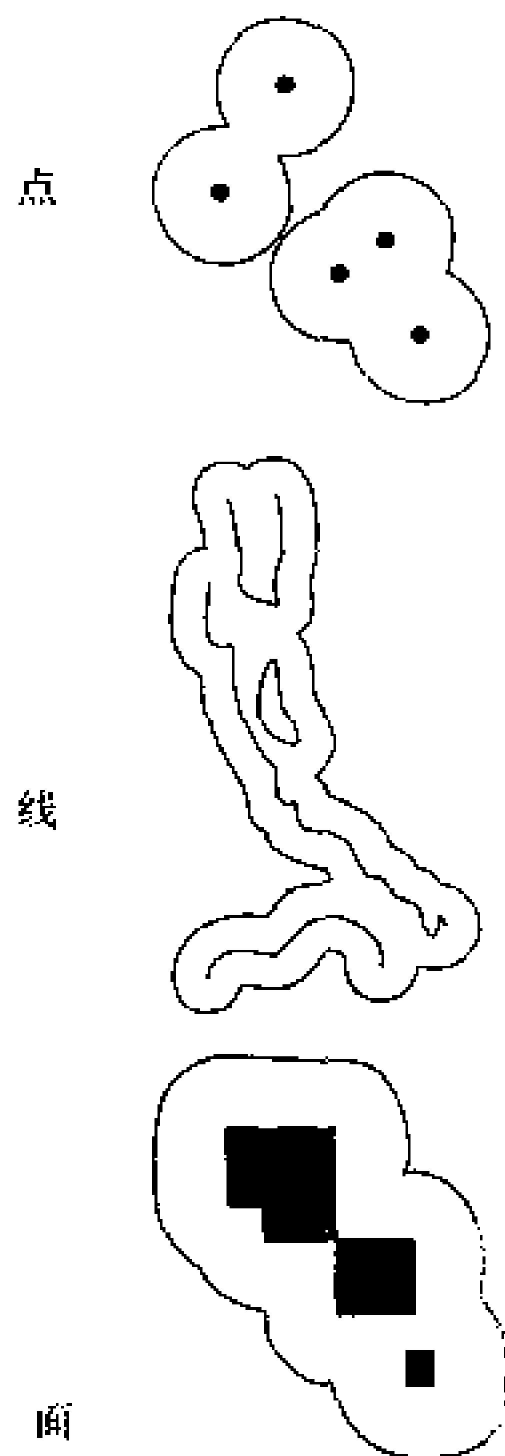


图 10.1　围绕点、线和面的缓冲

整，使每个缓冲带成为单独的多边形。缓冲带的边界也可以消除掉，使得缓冲带之间没有叠加区(图 10.4)。

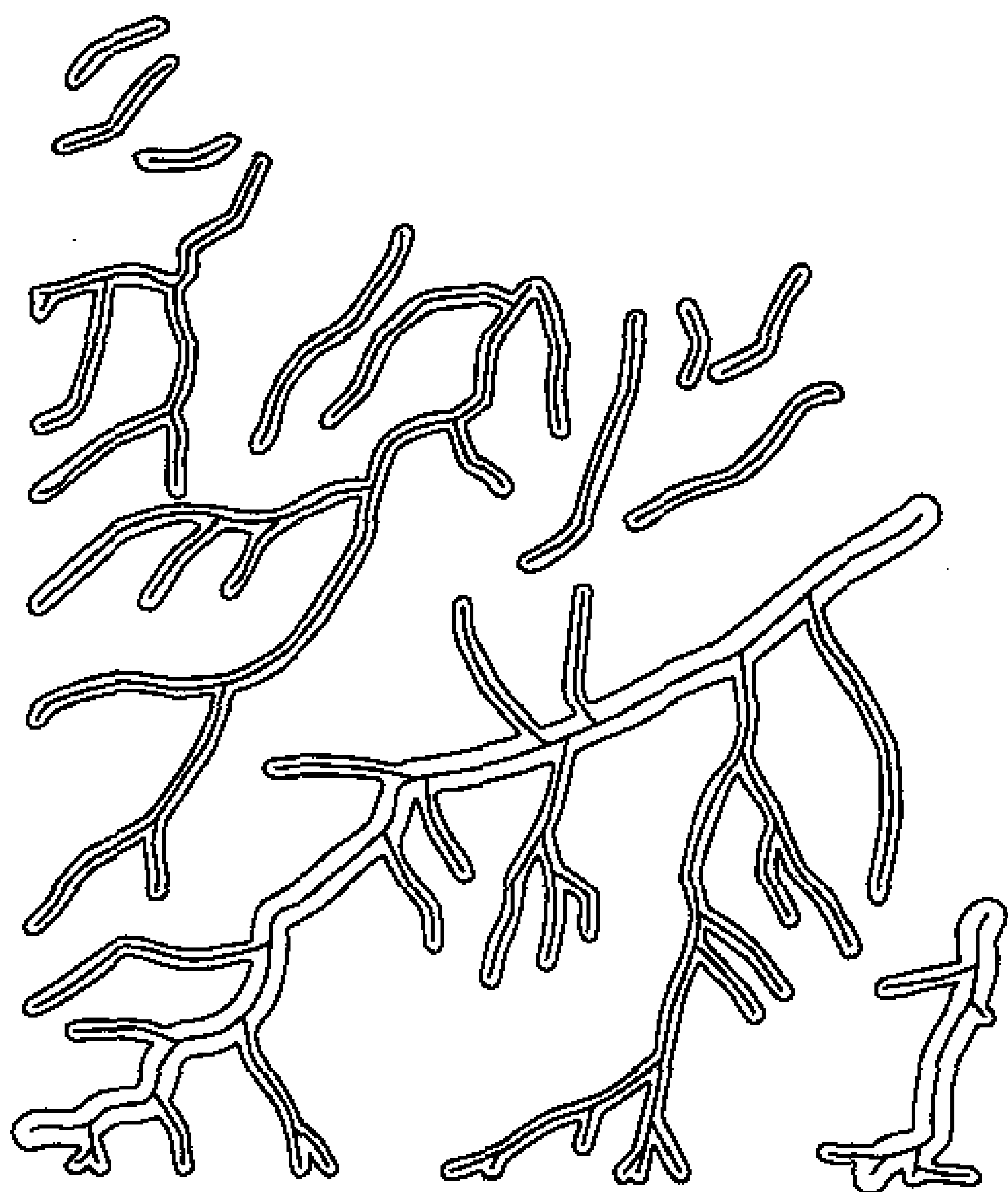
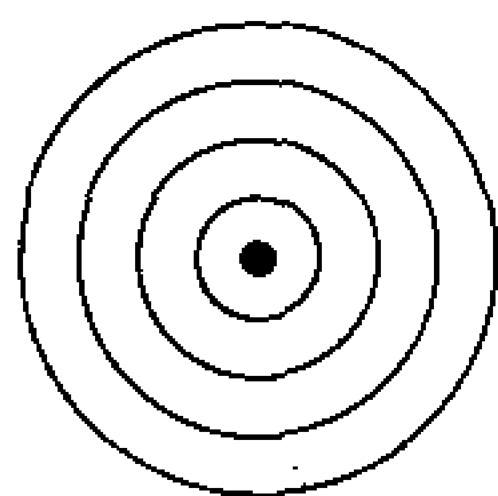
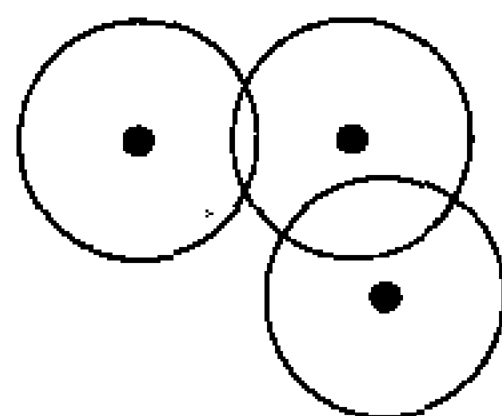


图 10.2　用不同缓冲距离所作的缓冲区。





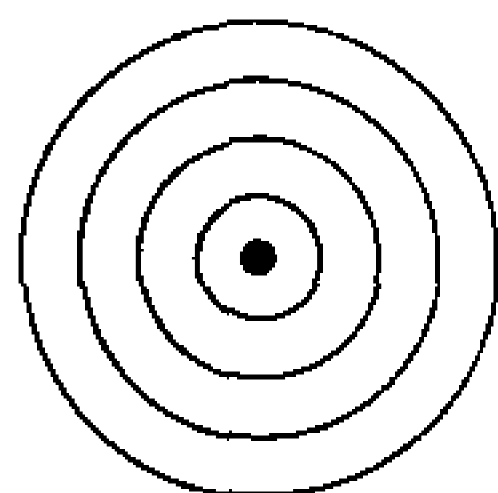


图 10.3　四环缓冲。

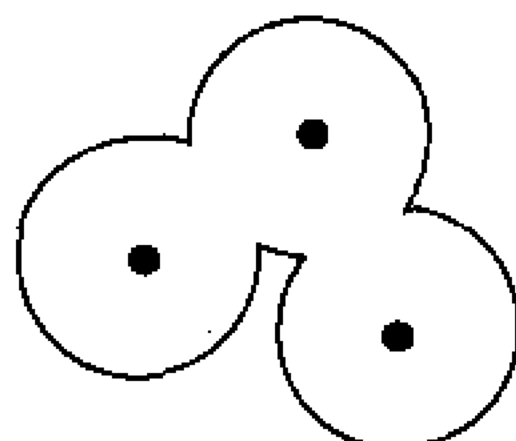


图 10.4　未作边界融合(上图)和已作边界融合(下图)的缓冲区。

不管如何变异，缓冲操作时总是用距地图要素的距离量度来创建缓冲带。因此，GIS 用户必须知道地图要素的量度单位（例如，米或英尺）。如果需要的话，在作缓冲之前预先输入量度单位的信息。以 ArcView 为例，可以用默认地图单位作为距离单位或者让用户选择不同的距离单位（比如，用英里而不是英尺）。由于缓冲是使用距地图要素的距离量度，地图要素的位置精度决定了缓冲带的精度。

缓冲创建了缓冲区地图，它是在空间数据查询以外设立缓冲操作。空间数据查询可选择位于其他要素在一定距离之内的地图要素，但不能创建缓冲区地图。缓冲区常视为保护区用于规划或调整。下面引述一些例子：

（1）市政法令可规定酒类商店或色情商店不能设在距学校或教堂 1000ft 范围内。

（2）政府规章可规定伐木作业必须远离河流至少 2mi 以使淤积问题减到最小，并设立 2mi 缓冲带作为隔离区。

（3）国家林地可禁止在距道路 500ft，距步行道 200ft，距河流、湖泊、池塘或水库 500ft，或距泉眼 400ft 范围内钻探油气井。

（4）都市规划可沿着河流边缘设立岸边地带，以减少营养物、沉淀物、杀虫剂流入的影响，保持树阴以防止河流温度的升高，提供野生生物和水生生物的栖息地（Thibault 1997）。

缓冲区可以视为一个中立地区，而作为解决冲突的一种工具。在控制抗议人群中，警察可以要求抗议者远离建筑物至少 300ft。也许众所周知的中立地区是沿 38°N 纬线将南北朝鲜分隔开的非军事区。

有时缓冲区在 GIS 应用中可以表示包含区（inclusion zones）。例如，工业园区布局标准可能规定潜在地点必须在距离重型公路 1mi 范围内。在这种情况下，所有重型公路的 1mi 缓冲区都成为包含区。

缓冲区本身可以成为分析对象，而不是仅简单地作为筛选设备。森林管理计划可以划定距河流 200ft 范围内作为河滨地带。在此计划之下，河滨地带与非河滨区域分开，实行不同的管理。另一个发展中国家的城市规划的例子是，那里的城市扩展一般发生在现有都市地区和主要公路附近。

多环缓冲作为一种采样方法可能很有用。例如，Schutt 等（1999）以 10m 增量对河网作缓冲处理，直到距离河流 300m，使他们能够对木本植被的成分和模式作为河网距离的函数进行分析。还可以将递增划带（incremental banding）的方法应用于其他研究，比如环绕都市地区的土地利用变化。

10.3　地图叠加

地图叠加是将两幅要素地图的几何形状和属性组合在一起而生成输出地图（图 10.5）。两幅地图之一称为输入地图，另一幅称为叠加地图。输出地图的几何形状或空间数据代表输入和叠加地图要素的几何学交集。因此，输出地图上的地图要素数目不是输入地图和叠加地图的总和，而往往是大于两者之和。输出地图的每个地图要素包含输入和叠加地图的属性的组合，这种组合不同于其邻域。

被叠加要素地图必须是空间配准过的，亦即基于相同坐标系统。如果是 UTM 坐标系

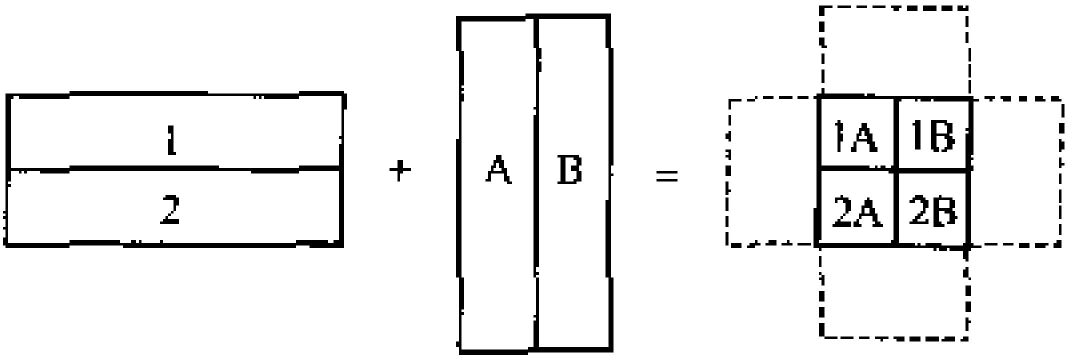


图 10.5 地图叠加把两幅地图的几何形状和属性数据结合到一幅地图中。本图中的"相交"是地图叠加的一种方法。来自相交的输出图层包含两幅输入图层的共同区域。虚线不包含在输出图层中。

统或国家平面坐标系统,则必须基于同一地带。随着 GIS 用户将 NAD27 移植到 NAD83,他们还必须查验确保叠加地图之间的基准面相同。

每次只能对两幅多边形地图作地图叠加。因此,如果三幅多边形地图需要叠加,需先对其中两幅进行叠加,然后用输出地图与第三幅地图再作叠加。这个过程(尤其是中间输出的跟踪处理)可能是冗长乏味的。采用区域数据模型使得一次叠加操作中只能用两幅地图的问题不复存在,该模型可在一次操作中叠加两个以上的图层(参见第 15 章)。

10.3.1 要素类型与地图叠加

实际上,地图叠加首先考虑的是要素类型。输入地图可包含点、线或多边形;叠加地图必须是多边形地图;输出地图具有与输入地图一样的要素类型。因此地图叠加按要素类型分成"点与多边形叠加"、"线与多边形叠加"和"多边形与多边形叠加"。

在**"点与多边形叠加"**操作中,输出地图包含有与输入地图相同的点要素,但每个点被赋予它所落入多边形的属性(图 10.6)。在野生生物与植被类型之间寻找联系为"点与多边形叠加"的一个例子。

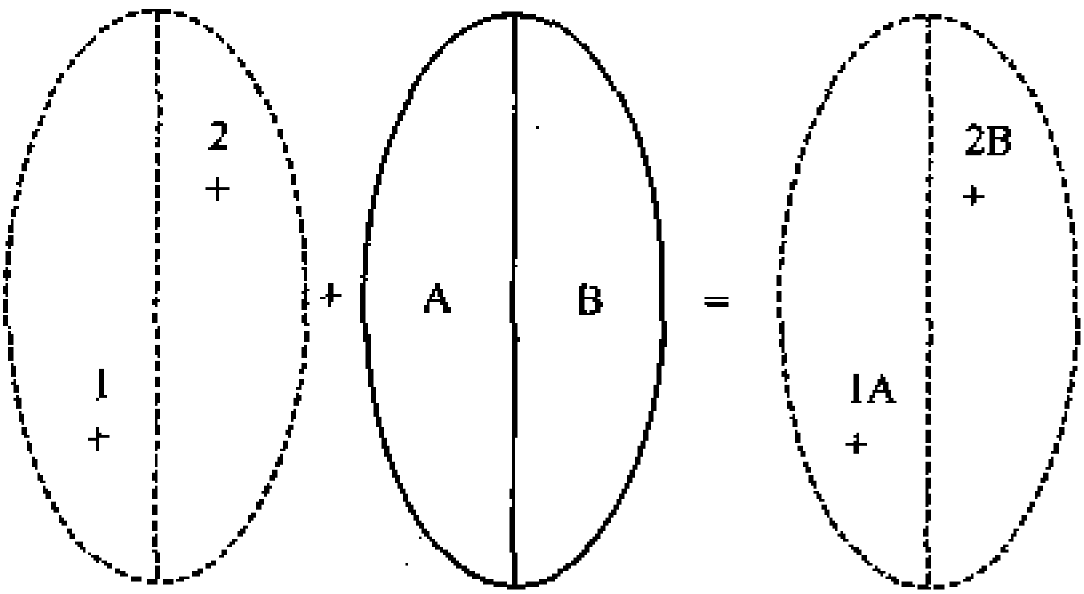


图 10.6 "点与多边形"叠加。输入图层为点状专题(虚线仅作为说明,不是点状专题图层的一部分)。输出图层也是点状专题,它含有来自叠加多边形专题图的属性数据。

在**"线与多边形叠加"**操作中,输出地图包含有与输入地图相同的线要素,但它们在叠加地图中被多边形边界分割开(图 10.7)。因此,输出地图比输入地图有更多的弧段。输出地图上的每个弧段组合了线状地图的属性和所落入多边形的属性。查找所提议道路的土壤数据为"线与多边形叠加"的一个例子。输入地图包括所提议道路,叠加地图为土壤图。输出地图表示分割的提议道路,每个路段对应于与其邻接路段不同的土壤数据集。

最常见的叠加操作是**"多边形与多边形叠加"**,涉及两幅多边形地图。输出地图是将输

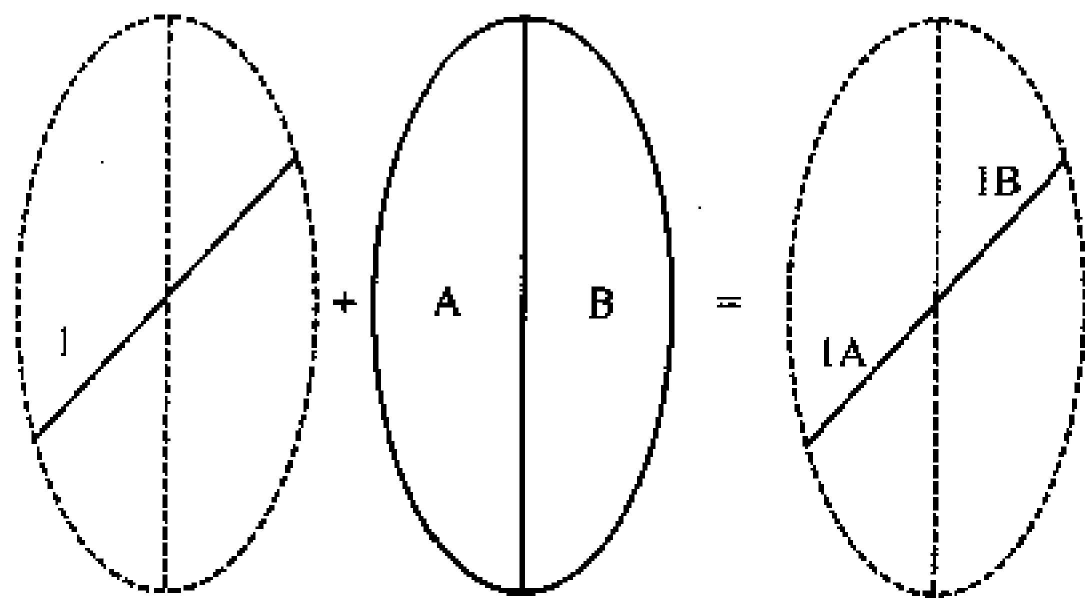


图 10.7 线与多边形叠加。输入图层为线状专题(虚线仅作为说明,不是线状专题图层的一部分)。输出也是线状专题图。但输出图层在两方面不同于输入图层:线被割开成两段,这些线段具有来自叠加多边形专题图的属性数据。

入地图和叠加地图的多边形边界组合在一起,生成一套新的多边形(图 10.8)。每个新多边形携带了两幅地图的属性,这些属性有别于邻接多边形的属性。分析高度带与植被类型的联系为"多边形与多边形叠加"的一个例子。

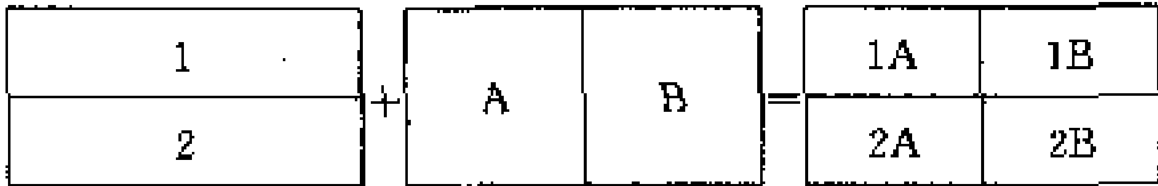


图 10.8 多边形与多边形叠加。在本图中,叠加的两幅专题图具有相同的区域范围。输出图层将两幅专题图的几何形状和属性数据结合到一幅多边形专题图中。

10.3.2 地图叠加方法

如果输入地图具有与叠加地图相同的区域范围,则该区域范围也用于输出地图。但是,如果输入地图的区域范围与叠加地图不同,那么输出地图的区域范围将依所用叠加方法而不同。三种常用地图叠加方法称为 UNION(联合),INTERSECT(相交)和 IDENTITY(层叠加)(注释栏 10.1)。

地图叠加方法

不同的 GIS 软件包提供了不同的地图叠加方法,尽管这些方法都是基于布尔运算。ArcView 提供了 UNION(联合)和 INTERSECT(相交)。ARC/INFO 提供了 UNION(联合)、INTERSECT(相交)和 IDENTITY(层叠加)。MGE 有 UNION(联合)、INTERSECT(相交)、MINUS(减去)和 DIFFERENCE(差值)等叠加方法。MINUS(减去)在功能上与 IDENTITY(层叠加)相似,DIFFERENCE(差值)应用布尔运算中的 XOR。

UNION 通过把两幅地图的区域范围联合起来而保持来自输入地图和叠加地图的所有地图要素(图 10.9)。布尔运算使用关键字 OR,即(输入地图)OR(叠加地图)。因此输出地图对应于输入地图或叠加地图或两者的区域范围。UNION 要求输入地图和叠加地图均为多边形地图。

INTERSECT 仅仅保留落在输入地图和叠加地图共同区域范围的那些要素(图 10.10)。INTERSECT 是使用 AND,即(输入地图)AND(叠加地图)的布尔运算。输出

地图必须对应于输入地图和叠加地图的区域范围。INTERSECT 常是叠加的首选方法，因为输出地图上的任何地图要素具有其输入地图的属性数据。例如，森林管理计划可能需要河滨地带植被类型的清单。在此情况下，INTERSECT 可能是比 UNION 更有效的叠加方法，因为输出地图仅仅包括河滨地带和该地带内的植被类型。用于 INTERSECT 的输入地图可以包含点、线或多边形。

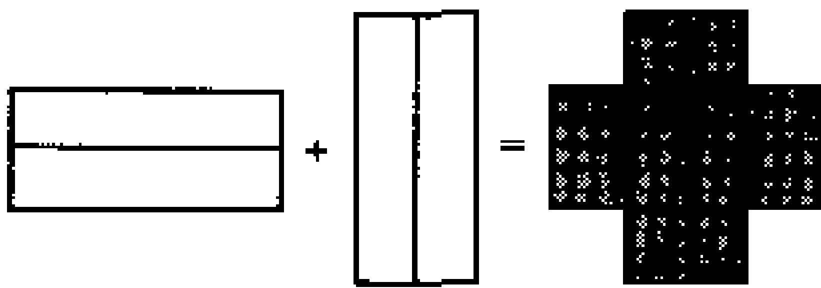


图 10.9　Union(联合)法在输出图层中保留了两个输入专题图的全部范围。

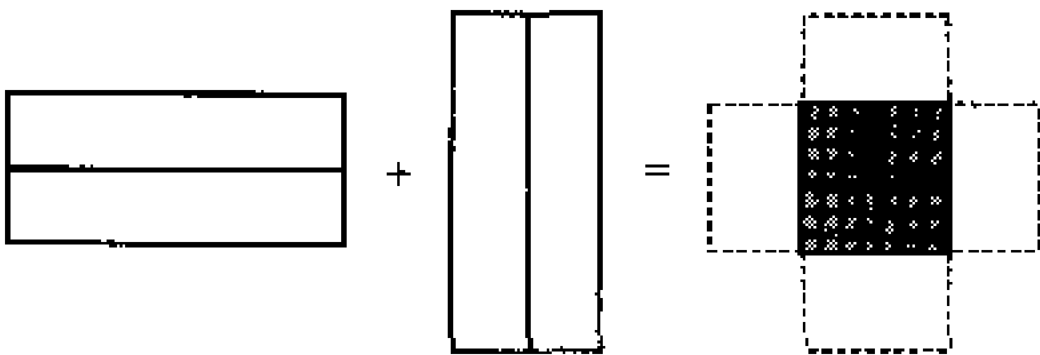


图 10.10　INTERSECT(相交)法在输出图层中仅保留两幅输入专题图的共同区域。虚线仅为了说明，不是输出图层的一部分。

IDENTITY 仅仅保留落在由输入地图定义的区域范围内的地图要素(图 10.11)。以布尔表达式表达的话，IDENTITY 所表示的运算是：[(输入地图) AND (叠加地图)] OR (输入地图)。在输入地图区域范围之外的叠加地图的要素不在输出地图上出现。用于 IDENTITY 的输入地图可包含点、线或多边形。

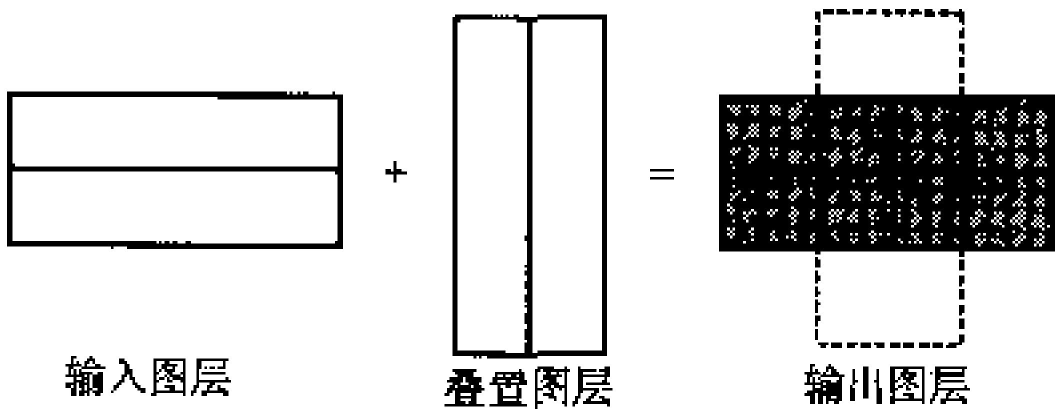


图 10.11　IDENTITY(层叠置)法产生的输出图层与输入图层的范围相同，但包含来自叠置图层的几何形状和属性数据。

ArcView 提供 UNION 和 INTERSECT 的叠加方法(注释栏 10.2)。除了用于 INTERSECT 的输入地图只能是线状或多边形地图之外，该方法与 ARC/INFO 中的相同。ArcView 用户可用 Assign Data By Location 方法将点状地图与多边形地图叠加，又为作 Spatial Join(图 10.12)。点状地图是接受数据赋予的地图，而叠加地图是提供赋予数据的地图。Spatial Join 操作通过点与多边形的空间对应关系，把多边形地图的属性结合到点状地图的属性中。例如，如果一个点对应于一个带有农业属性值的多边形，那么农业将被加到该点的记录。

[illegible]　**用 ArcView 作地图叠加操作**

ArcView 与 ARC/INFO 的 UNION(联合)和 INTERSECT(相交)在功能上是相同的。但是这两个 GIS 软件包之间在地图叠加操作上有两方面不同:ArcView 使用 shapefile，因此在 ArcView 中运行地图叠加前,先把 ARC/INFO 的图层文件转换成 shapefile 文件是一个好办法。其次，ArcView 不会自动更新由地图叠加生成的多边形的面积和周长数值。这一缺点可能困扰 ArcView 用户，例如，如果用户想要知道输出图层中选中多边形的总面积的话。ArcView 的 Help(帮助)文档提供了样板脚本(calcapl.ave),可以计算要素的几何学数值,包括面积和周长数值。本章应用部分的习作之一在一个叠加输出中用到了 calcapl.ave。

至 \ 起	点	线	多边形
点	最接近	最接近	在内
线	最接近	部分	在内
多边形	不可用	不可用	在内

图 10.12　ArcView 中的 Assign Data by Location(以位置赋予数据)方法涉及两个专题图:提供赋予数据的专题图和接受赋予数据的专题图。每个专题图可以是点、线或多边形专题。数据赋予是基于最接近(nearest)、在内(inside)或部分(part of)等空间关系。表中的两个单元格(从点到多边形和从线到多边形)为不可用。

10.3.3　破碎多边形

来自两幅多边形地图叠加的常见误差是**破碎多边形**(slivers),即沿着两个输入地图的相关或共同边界线的细小多边形(图 10.13)。破碎多边形的出现往往来自数字化的误差。由于手扶跟踪数字化或扫描的精度很高,输入地图上的共同边界线不会刚好相互重叠。当两幅地图叠加后,数字化边界线的相交形成了破碎多边形。引起破碎多边形的其他原因包括源地图的误差或解译误差。土壤和植被图上的多边形边界通常是由野外调查数据、航空相片和卫星图像解译而来的,解译差错也可能产生不正确的多边形边界。

多数 GIS 软件包在地图叠加操作中包含模糊容差,以去除破碎多边形。**模糊容差**强制把构成线的点捕捉到一起,如果这些点落在指定距离之内的话(图 10.14)。模糊容差既可由用户定义,也可基于 GIS 软件的默认值。在叠加操作输出地图上残留的破碎多边形是那些未被内置模糊容差所去除的。

消除这些破碎多边形的一种方法是增加模糊容差值。但是由于模糊容差是应用于整幅地图的,大的容差值将把共同边界以及在输入地图中不共用的线都捕捉到一起,这样在叠加输出地图上便会产生扭曲的地图要素。

去除破碎多边形的更好办法是应用最小制图单元概念。**最小制图单元**代表由政府机构或组织指定的最小面积单元。例如,国家林地采用 5acre 作为其最小制图单元,那么小于 5acre 的任一破碎多边形将通过被并到其邻接多边形而被消除。

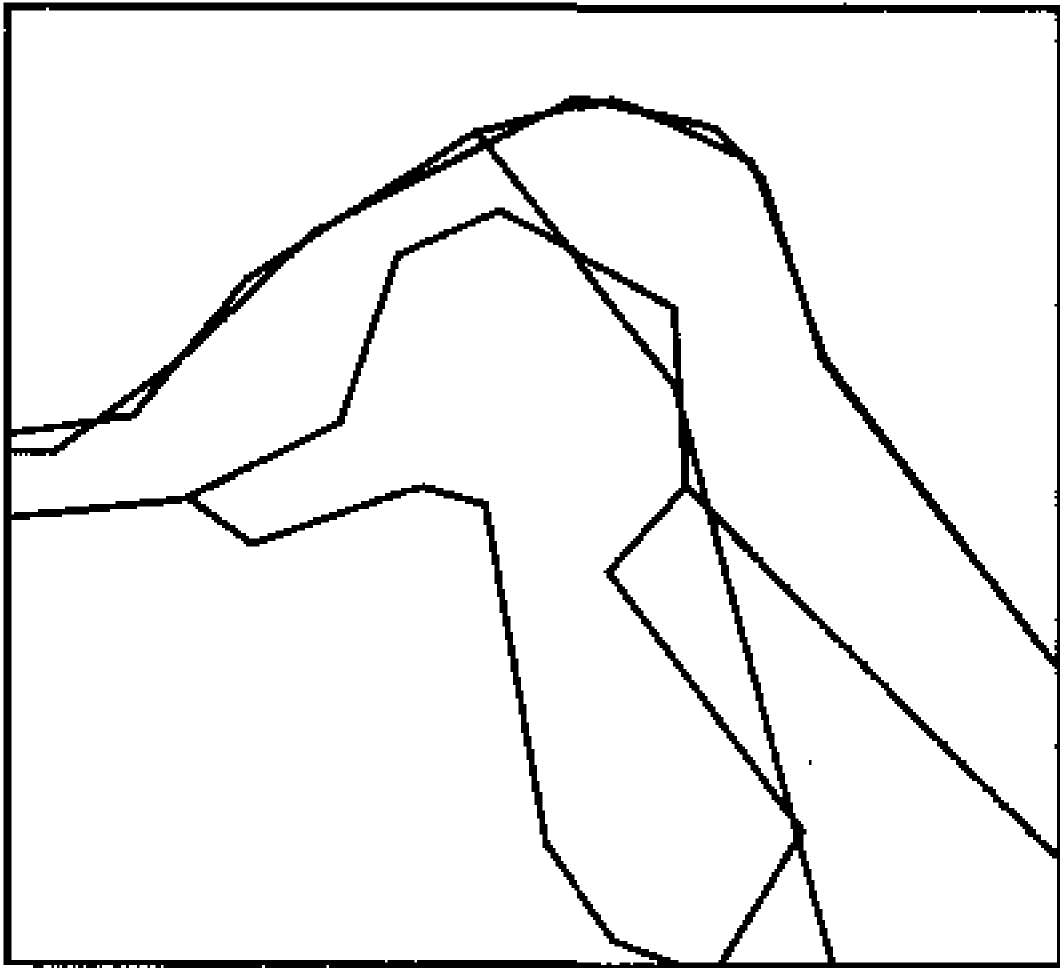


图 10.13　上部边界显示一系列破碎多边形，这些破碎多边形是由叠加操作的两幅地图的海岸线形成的，如果这两个 图层的海岸线完全配准，则不会出现破碎多边形。

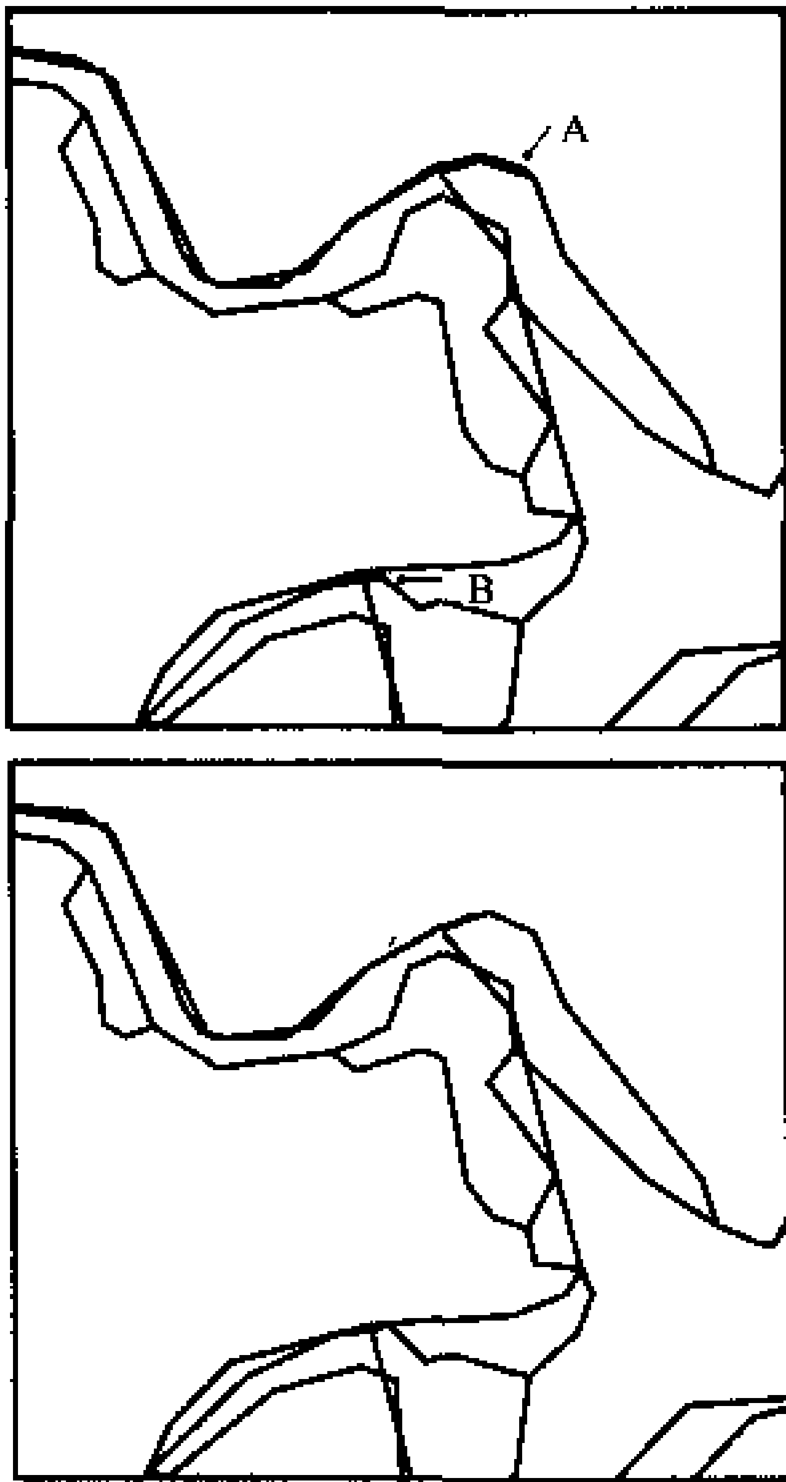


图 10.14　点（和线）如果落在指定模糊容差之内，就被捕捉到一起。沿着上部边界(A)的许多破碎多边形通过模糊容差的应用而被消除。模糊容差也可捕捉不是破碎多边形的弧段(B)。

10.3.4 地图叠加中的误差传递

破碎多边形是数字化地图误差的例子，它会传递到地图叠加操作的输出结果。由于输入地图的不准确而导致误差的产生称为**误差传递**。误差传递一般包括两种类型的误差：位置误差和标识误差(MacDougall 1975，Chrisman 1987)。如果误差来自由于数字化和解译误差导致的边界不准确，则破碎多边形代表地图叠加中的位置误差。误差传递也可由属性数据不准确或标识错误(如不正确的多边形数值编码)而引起。每个地图叠加产物都会兼有位置误差和标识误差。

在地图叠加中误差传递有多严重？答案取决于输入地图的数目和输入地图中误差的空间分布。随着输入地图数目的增加和输入地图空间对应性或重合性的减小，合成地图的准确度趋于减小。Newcomer 和 Szajgin (1984)提出的误差传递模型通过计算条件概率来考虑空间重合误差。假定两个输入地图都有正方形的多边形，该模型计算合成地图上两幅地图都是正确的事件概率，或 $Pr(E_1>E_2)$，采用下列等式：

$$Pr(E_1 \cap E_2) = Pr(E_1)Pr(E_2|E_1) \tag{10.1}$$

式中：$Pr(E_1)$是第一幅输入地图为正确事件的概率；$Pr(E_2|E_1)$是假定第一幅输入地图正确时，第二幅输入地图为正确的事件的概率。这个模型提出合成地图可期望的最高精确度等于最不精确的单独输入地图的精确度，最低精确度等于：

$$1 - \sum_{i=1}^{n} Pr(E'_i) \tag{10.2}$$

式中：n 为地图叠加中输入地图的数目；$Pr(E'_i)$是输入地图 i 为不正确的概率。换言之，合成地图的最低概率是1减去来自所有输入地图不准确性百分数的总和。

例如，如果一个地图叠加操作由三幅输入地图来运作，已知这些地图的精度水平分别为0.9、0.8和0.7，根据Newcomer 和 Szajgin 模型，合成地图的精度在0.4(即1－0.6)和0.7之间。

Newcomer 和 Szajgin 模型是一个简单模型，与现实世界的情况有很大差异。首先，该模型基于正方形多边形，比用于地图叠加的真实地图的几何形状简单得多；其次，该模型仅能用于地图叠加中的属于 AND 的布尔运算，例如，输入地图1为正确 AND 输入地图2为正确。布尔运算中的 OR 则不同，因为它仅要求输入地图之一为正确，例如，输入地图1为正确 OR 输入地图2为正确；第三，Newcomer 和 Szajgin 模型只能应用于二进制数据，即输入地图正确或不正确。该模型不能用于间隔数据或比例数据，且不能测算误差数量。模拟数值型数据误差传递比二进制数据更为复杂(Arbia 等 1998，Heuvelink 1998)。

10.4 距离量测

距离量测涉及点与点之间、点与其对应的最近点或线之间的直线距离的量算。距离可以直接用于数据分析。例如，距离量测被用于测试鹿的重置地点是否靠近原始林与皆伐区的边缘，而不是随机分布于鹿的重置范围之内(Chang 等 1995)。距离也用于数据分析的输入。例如，重力模型(常用于移民研究和商业应用的一种空间交互作用模型)要求距点

与点之间的距离量度作为输入。

ArcView 在 Assign Data By Location 方法下包含了距离量测。赋予数据的地图必须是点状地图。赋予数据来源地图可以是点状或线状地图。并且两幅地图的空间关系是最接近的。Assign Data By Location 将最近点或线的属性加到点属性表的适当记录中(图 10.12)。此外,名为距离的新字段(表示距离量度)被加到该表中。

NEAR(接近)和 POINTDISTANCE(点距)是量测距离的两个 ARC/INFO 命令。NEAR 计算点图层上的点与另一图层上最近点或线之间的距离。POINTDISTANCE 量测点图层上的每个点与另一图层上所有点的距离。POINTDISTANCE 不用最接近关系。

10.5　地图操作

许多 GIS 软件包在数据库中提供了操作和管理地图的工具。地图操作常常是数据分析的一部分,或为数据处理所需。本节述及的大多数工具都涉及两幅地图,因此被一些 GIS 用户归为地图叠加方法。然而,本章中仅限于可把两幅地图的空间和属性数据结合到一幅地图的那些方法,这样就把地图操作工具从地图叠加方法中分了出来。由于 ArcView 和 ARC/INFO 提供了不同的地图操作工具,本节将这两个软件包作分别阐述。

10.5.1　用 ArcView 作地图操作

ArcView 中的 *GeoProcessing* 扩展模块具有 Dissolve(边界融合)、Clip(裁剪)和 Merge(合并)等地图操作工具。边界融合消除具有相同的选中属性数值的多边形边界(图 10.15)。边界融合的主要目的是简化。边界融合可能最常用于属性数据分类之后。分类把选中属性的数值归成类型从而造成邻接多边形的荒废边界,邻接多边形原先具有不同数值而现在归成相同类型。边界融合消除了这些不必要的边界并生成一幅以属性值分类结果的新的更简单的地图。

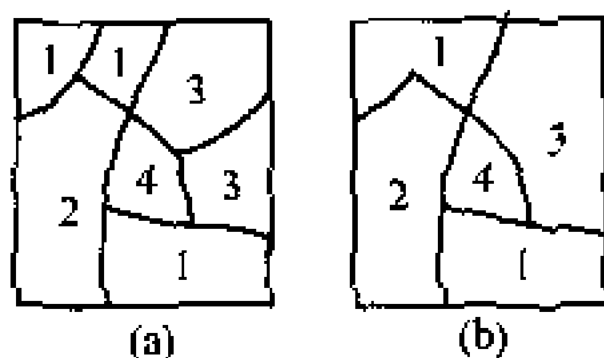


图 10.15　Dissolve(边界融合)去除具有相同属性值的多边形的边界,生成简化的地图(b)。

裁剪生成一幅仅包括落入裁剪地图区域范围内的输入地图要素的新地图(图 10.16)。裁剪是一个很有用的工具,例如,用于在别的地图上割取与研究区域相符的新地图时。输入地图可以是点、线或多边形地图,但是裁剪地图必须是多边形地图。

合并是把两幅或两幅以上地图拼接在一起生成一幅新地图(图 10.17)。例如,合并可把四幅输入地图(每幅对应于 USGS 7.5 分的区域范围)拼到一起。而后输出地图可呈单幅地图用于数据查询或展示。但是输入地图的边界仍然保留在输出地图上,如果要素跨越地图的边界,则一个要素被分成几个。因此 ArcView 中的合并不同于 ARC/INFO 中的边

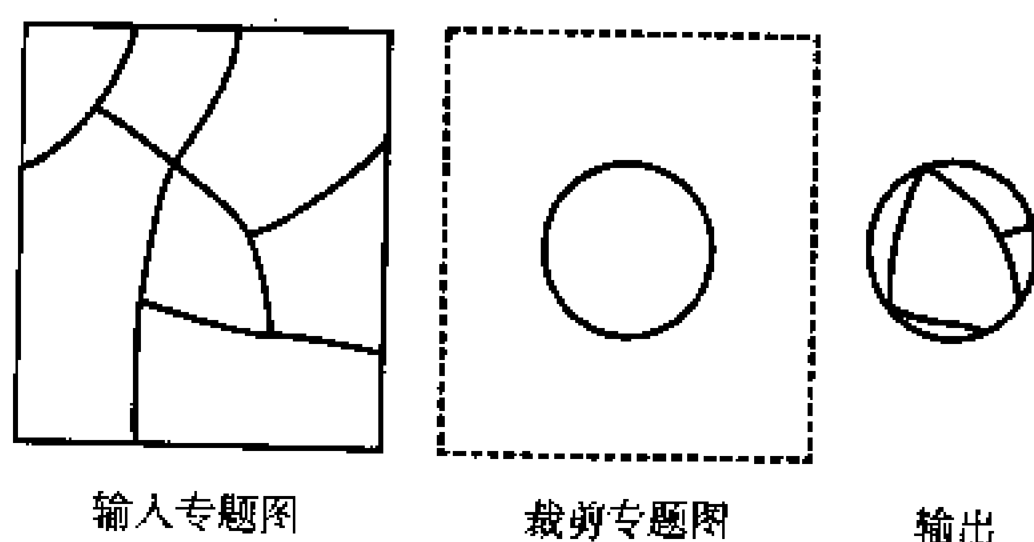


图 10.16 Clip(裁剪)生成的输出图层,仅含有落在裁剪专题图区域范围内的输入地图的要素。图中虚线仅作为说明,不是裁剪地图的一部分。

缘匹配,后者可生成无缝图层。

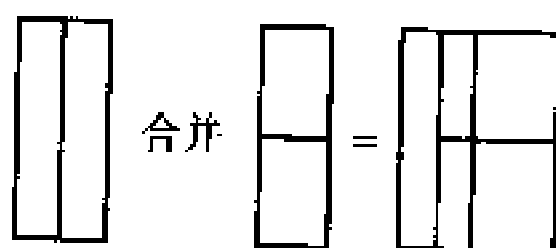


图 10.17 Merge(合并)把两幅邻接地图拼合成一幅地图。合并不能去除地图之间的共享边界。

10.5.2 ARC/INFO 中的地图叠加操作

ARC/INFO 含有比 ArcView 更多的用于地图图层操作的工具。除了 DISSOLVE、CLIP 和 MERGE 外,ARC/INFO 还提供了 RESELECT(重选)、ELIMINATE(消除)、UPDATE(更新)、ERASE(擦除)和 SPLIT(分割)。

RESELECT 根据用户定义的逻辑表达式选中地图要素来生成一个新的图层(图 10.18)。例如,可以从植被图层中选择 60%~80% 郁闭度的群丛来生成一幅较高林冠郁闭度的图层。

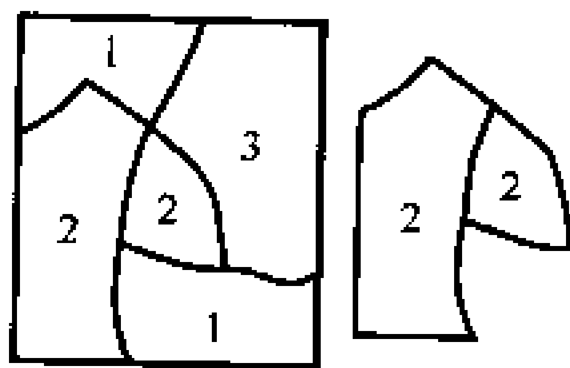


图 10.18 RESELECT(重选)生成的新图层,含有从输入图层选择的地图要素。

ELIMINATE 通过去除输入地图中满足用户定义的逻辑表达式的地图要素,生成一幅新的图层(图 10.19)。例如,在图层中小于用户定义的最小制图单元的多边形,可通过将其合并到其他多边形而消除。ELIMINATE 是一个能实现最小制图单元概念的命令。

UPDATE 采用"剪和贴"操作,以更新的图层及其地图要素来替换输入地图(图 10.20)。顾名思义,UPDATE 在有限范围内用新的地图要素更新现有图层时是有用的,它使 GIS 用户省去重新数字化图层。

ERASE 是从输入地图擦除某些地图要素,这些要素是落在所谓擦除图层区域范围内的(图 10.21)。假设适宜性分析规定潜在地点必须远离河流至少 300m,这种情况下,一

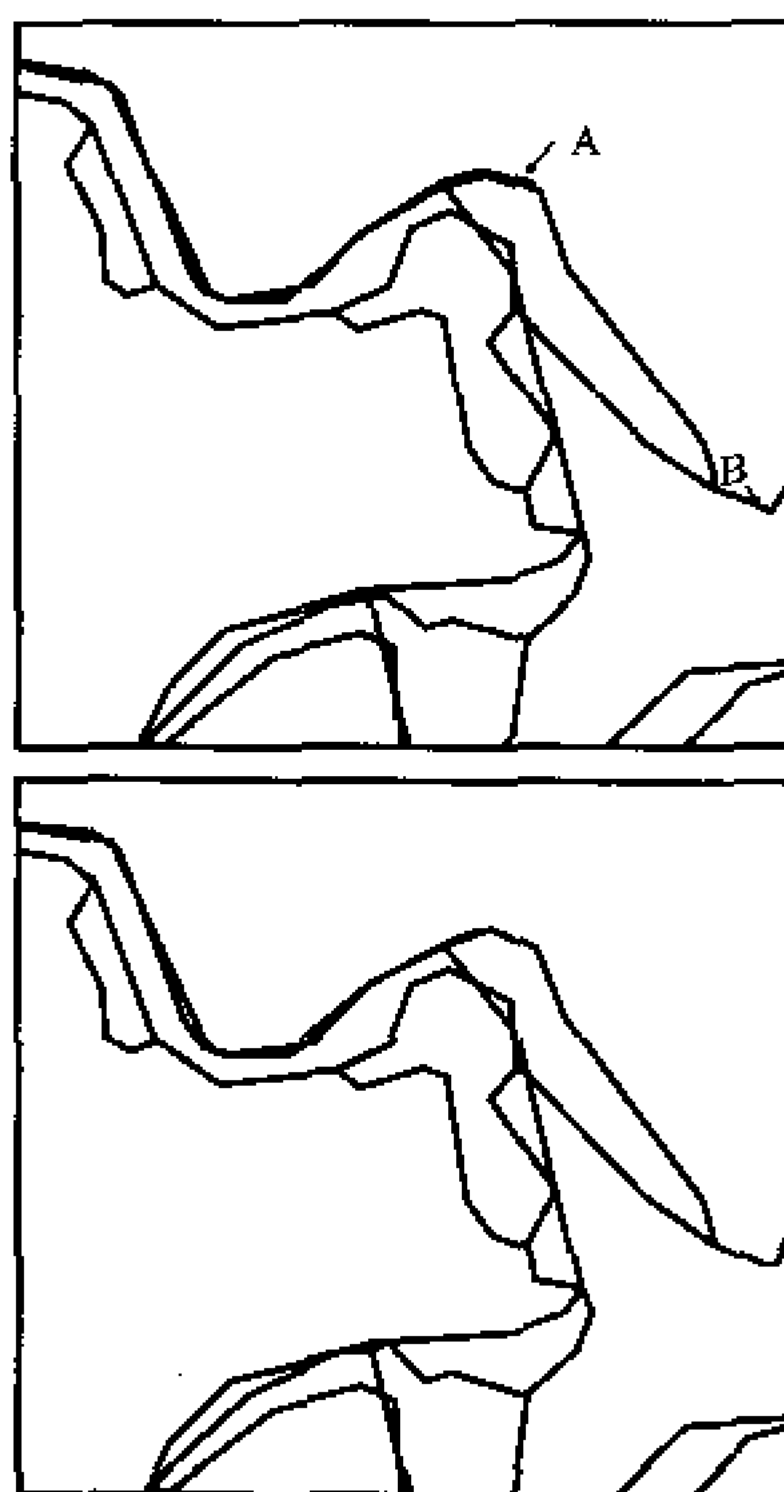


图 10.19　ELIMINATE 能将小于指定大小的多边形消除。因此沿上部边界线的破碎多边形被除去(图中的 A)。本图用 KEEPEDGE 选择,在图中的 B 处中保留了边缘,尽管构成边缘的多边形小于指定大小。

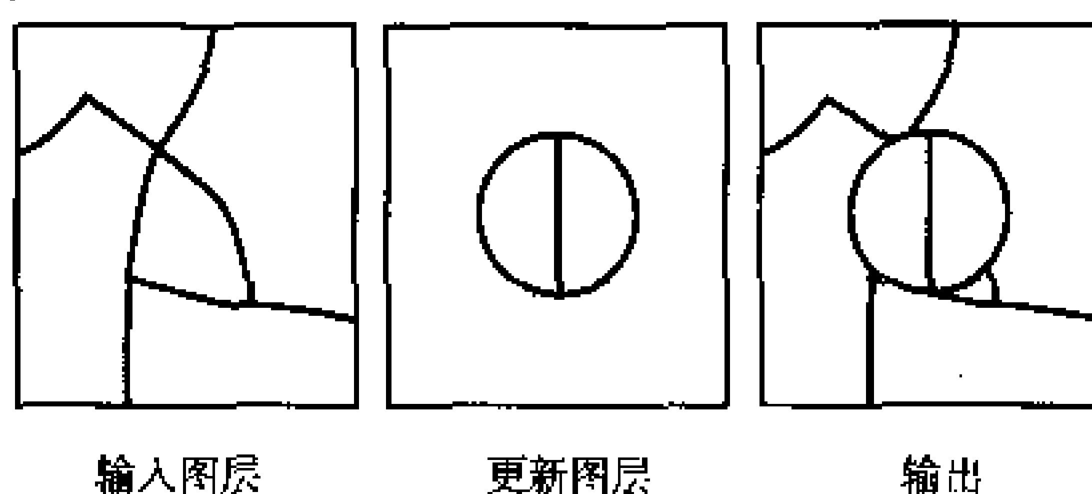


图 10.20　UPDATE 以更新的图层及其地图要素替换输入图层。

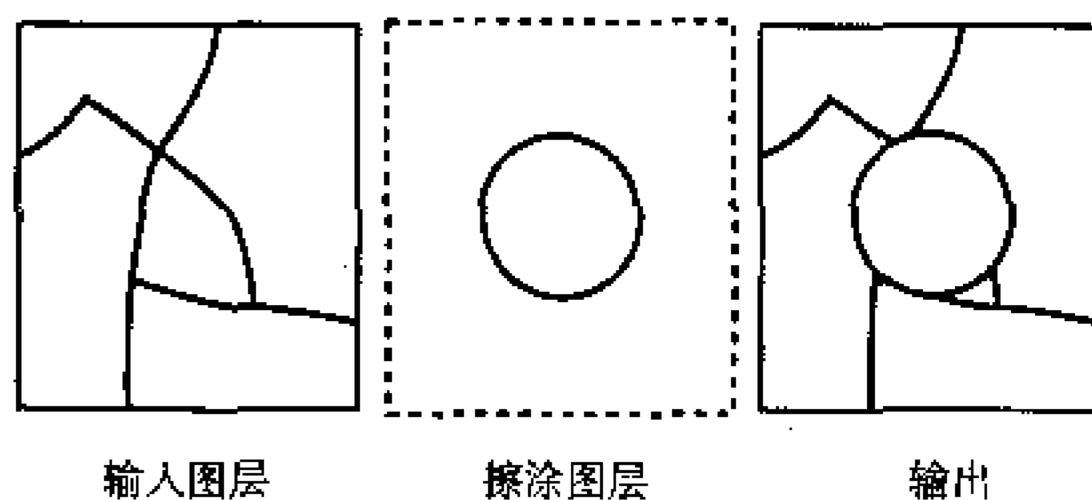


图 10.21　ERASE(擦除)将落在擦除图层范围内的输入图层地图要素去除。图中虚线仅用作说明,不是擦除图层的一部分。

个河流缓冲区图层可用作擦除图层，将自身去除而无需进一步考虑。

SPLIT 与 MERGE 正相反。SPLIT 把输入图层分成两个或两个以上的图层，而不是拼接成一个图层(图 10.22)。一个分割图层(即表示区域亚单元的图层)被用作分割输入图层的模板。例如，国家林地可能用 SPLIT 按地区将植被图层分割开来，使得每个地区办公室都有自己的植被图层。

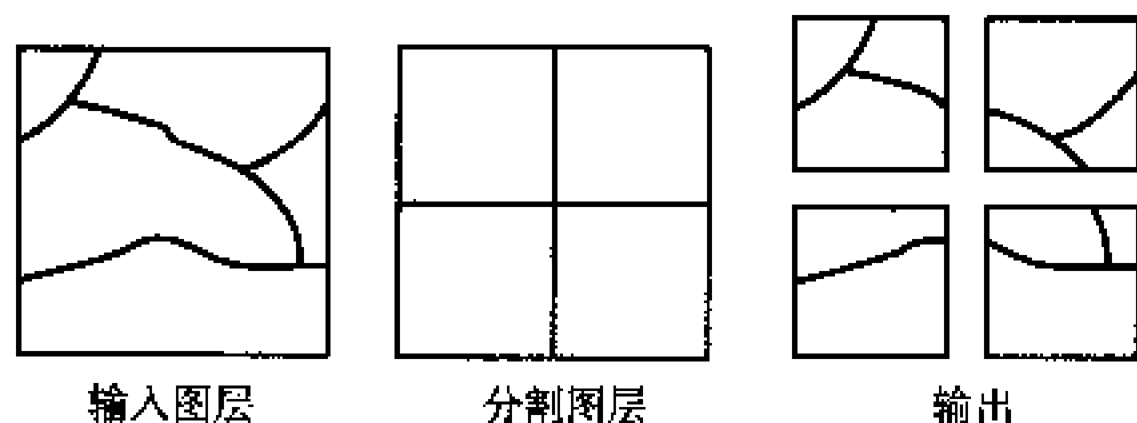


图 10.22　SPLIT 用分割图层的几何形状把输入图层分割成四个单独的图层。

重要概念和术语

层叠置(Identity)：一种地图叠加方法，仅保留那些落在由输入地图定义范围内的要素。

地图叠加：将两幅数字化地图的几何形状和属性结合在一起，生成输出地图的一种 GIS 操作。

点与多边形叠加：一种 GIS 操作，点状地图上的每个点被赋予点所落入的多边形内的属性数据。

多边形与多边形叠加：一种 GIS 操作，其输出地图结合了来自输入地图和叠加地图的多边形边界，生成一套新的多边形，每个新的多边形携带了两幅地图的属性。

缓冲：一种 GIS 操作，将落在所选地图要素指定距离之内的区域与之外的区域分开。

联合(Union)：保留输入地图和叠加地图全部要素的一种多边形与多边形叠加方法。

模糊容差：用于 GIS 软件的距离容差，落在这一指定距离内的点和线被强制捕捉到一起。

破碎多边形：在地图叠加中沿着两个输入地图的共同边界出现的极小多边形。破碎多边形往往来自数字化误差。

误差传递：由于输入地图的误差造成地图叠加输出中误差的产生。

线与多边形叠加：一种 GIS 操作，现状地图被叠加地图上的多边形边界所分割，输出地图上每个弧段结合了来自线状地图和所落入多边形的属性。

相交(Intersect)：一种地图叠加方法，仅保留那些落在输入地图和叠加地图共同范围的要素。

最小制图单元：由政府机构或组织所指定的最小面积单元。

应用：矢量数据分析

本章应用部分包括两个习作。习作 1 涉及矢量数据分析的基本功能(如缓冲、地图叠

加、属性数据处理和边界融合等)。习作 1 也用到 Avenue Scripts 来更新叠加合成地图的面积和周长数值。习作 2 涉及距离量测。

习作 1 缓冲、叠加和 Avenue Script 的应用

习作 1 模拟实际项目的 GIS 分析，介绍常用的基于矢量的分析，诸如缓冲、地图叠加、边界融合、表格数据处理以及 Avenue Script 样本的应用。本习作要求用下列指标选择寻找一个新的大学水产养殖实验室的适宜地点：

首选土地利用为灌木林地(如 landuse.shp 中的 lucode=300)

选择适宜开发的土壤类型(如 soils.shp 中的 suit >=2)

地点必须离下水道管线 300m 范围之内

1. 启动 ArcView 并勾选 GeoProcessing 扩展模块。
2. 把 sewers.shp、landuse.shp 和 soils.shp 加到视图。
3. 从 View 下拉菜单中选择 Properties。在 View Properties 对话框里将地图单位和距离单位设为 m。
4. 第一步操作是以 300m 缓冲距离对 sewers.shp 作缓冲。激活 sewers.shp，从 Theme 下拉菜单中选择 Create Buffers。在 Create Buffers 对话框中，确认想要缓冲的 sewers.shp 要素。点击 Next。指定距离设为 300m。点击 Next。点击 Yes 以消除缓冲区之间的界线。将缓冲结果以新的专题图存盘，命名为 sewerbuf.shp。点击 Finish。sewerbuf.shp 以 Buffer1 of sewers.shp 出现在目录表中。从 Theme 下拉菜单中选择 Properties，将 Buffer1 of sewers.shp 重新命名为 sewerbuf.shp。
5. 下一步操作是对 soils.shp 和 landuse.shp 作叠加操作。从 View 菜单中选择 GeoProcessing Wizard。在 GeoProcessing 对话框中，勾选 "Union two themes"。点击 Next。在随后的对话框中，选择 soils.shp 作为要联合的输入专题图，选择 landuse.shp 作为要联合的多边形叠加专题图，并指定输出文件名为 landsoil.shp。点击 Finish。
6. 现在需要叠加 landsoil.shp 与 sewerbuf.shp(记住一次只能叠加两个专题图)。在 GeoProcessing 对话框里钩选"Intersect two themes"。选择 sewerbuf.shp 作为要相交的输入专题图，landsoil.shp 作为叠加专题图，并指定相交输出文件名为 finalcov.shp。点击 Finish。
7. finalcov.shp 含有适宜性分析的全部属性数据。接着要做的是查询分析。打开 finalcov.shp 的专题属性表。开始编辑表格(点击 Table 菜单下的 Start Editing)。把名为 suitable (Number, 2, 0)的新字段添加到表格中(点击 Edit 菜单下的 Add Field)。用 Query Builder 选择满足以下指标的多边形：Lucode =300 and suit>=2。点击 Add To Set。在主菜单中点击 Calculate 按钮，出现 Field Calculator 对话框。在对话框左下方表达式方框中输入 1(使完整的表达式为 suitable=1)。点击 OK。
8. 点击 Promote 按钮把满足选择指标的多边形移到表格上部。注意它们的适宜性数值都是 1。
9. 对 finalcov.shp 专题属性表还有一事要做的是：从表格中删除一套面积和周长数

据。该表含有两套来自叠加操作的面积和周长数据。加亮第一个面积字段并在Edit下拉菜单中点击删除该字段。然后,加亮第一个周长字段并点击删除。至此,你可将编辑好的表格存盘。

10. 因为shapefile不用拓扑关系,finalcov.shp专题属性表中的面积数值在地图叠加操作之后尚未更新。要用ArcView Help文档中的Avenue脚本来计算正确的面积数值。浏览至"Sample scripts and extensions\Sample scripts\Views\Data conversion/alteration"并点击"Calculates feature geometry values"。在帮助专题的顶部,点击Source Code打开一个有源程序的视窗。在源程序视窗中的选项菜单中选择复制。
11. 在Project视窗,点击Scripts和New,打开一个脚本视窗。然后点击Paste按钮。这就把用于计算要素几何学数值的样板脚本复制到脚本视窗。点击Compil按钮以编译该脚本。
12. 激活View并接着激活脚本视窗(样板脚本要求运行脚本之前视图文档为激活文档)。点击Run按钮以运行该样板脚本。对更新面积和周长的提问回答Yes。返回finalcov.shp专题属性表。面积数值现已更新。要获取潜在地点的总面积,需作以下步骤:首先,用Query Builder从finalcov.shp专题属性表中选择suitable =1的记录;其次,在专题属性表中加亮Area字段;第三,从Field菜单中选择Statistics对话框。Statistics对话框显示所选记录有关面积字段的总和及其他统计值。
13. finalcov.shp包括适宜性取值为1和0的多边形。为了用专题菜单中的Dissolve生成仅包含潜在地点的新专题图,从View菜单选择GeoProcessing Wizard,这次选择Dissolve操作。点击Next。在随后的对话框中,选择finalcov.shp作为边界融合的专题图,选择适宜性作为边界融合的属性,并指定边界融合的输出文件名为finaldis.shp。对该输出结果无需更多的字段或操作。finaldis.shp仅含有选为潜在地点的多边形。

习作2 距离量测

所需数据:deer.shp和edge.shp。

习作2要求你用Assign Data by Location方法来量测deer.shp中的每个鹿场与edge.shp中原始林与皆伐区边缘的最近距离。

1. 启动ArcView并载入Geoprocessing扩展模块。打开一个新视图,把deer.shp和edge.shp加到视图。从View菜单选择Properties,并指定地图单位为m。
2. 从View菜单选择Geoprocessing Wizard。在弹出的对话框中,点击Assign Data by Location选择按钮。点击Next。然后,指定deer.shp为接受赋予数据的专题图,edge.shp为提供赋予数据的专题图。点击Finish。
3. 激活deer.shp并打开其属性表。注意Distance和其他字段已被加到专题属性表中。点击Query Builder按钮。准备查询表达式为:[Distance] <=50。这些位于与其最靠近交界处50m范围之内的鹿场在专题属性表中以及视图中被加亮。

参考文献

Arbia, G., D. A. Griffith, and R. P. Haining. 1998. Error Propagation Modeling in Raster GIS: Overlay Operations. *International Journal of Geographical Information Science* 12: 145－167.

Chang, K., D. L. Verbyla, and J. J. Yeo. 1995. Spatial Analysis of Habitat Selection by Sitka Black-Tailed Deer in Southeast Alaska, USA. *Environmental Management* 19: 579－589.

Chrisman, N. R. 1987. The Accuracy of Map Overlays: A Reassessment. *Landscape and Urban Planning* 14: 427－439.

Heuvelink, G. B. M. 1998. *Error Propagation in Environmental Modeling with GIS*. London: Taylor and Francis.

MacDougall, E. B. 1975. The Accuracy of Map Overlays. *Landscape Planning* 2: 23－30.

Newcomer, J. A., and J. Szajgin. 1984. Accumulation of Thematic Map Errors in Digital Overlay Analysis. *The American Cartographer* 11: 58－62.

Schutt, M. J., T. J. Moser, P. J. Wigington, Jr., D. L. Stevens, Jr., L. S. McAllister, S. S. Chapman, and T. L. Ernst. 1999. Development of Landscape Metrics for Characterizing Riparian-Stream Networks. *Photogrammetric Survey and Remote Sensing* 65: 1157－1167.

Thibault, P. A. 1997. Ground Cover Patterns Near Streams for Urban Land Use Categories. *Landscape and Urban Planning* 39: 37－45.

Veregin, H. 1995. Developing and Testing of An Error Propagation Model for GIS Overlay Operations. *International Journal of Geographical Information Systems* 9: 595－619.

第11章 栅格数据分析

11.1 引 言

栅格数据模型使用一种覆盖空间的规则格网，其每个格网单元值对应于该单元位置的空间现象的特征。有固定单元位置的格网这种简单数据结构不仅在计算上效率高，而且可作多种多样的数据分析。

与基于点、线和多边形几何对象的矢量数据分析形成对照，栅格数据分析是基于单元和格网。栅格数据分析能在单个单元、单元组或整个格网单元的不同层次上进行。一些栅格数据运算使用单一格网，而另一些使用两个或更多格网。栅格数据分析中着重考虑的一点是单元数值类型。平均值、标准差等统计值被视为数值型数值，而大多数（最常见单元值）其他单元值既可设计为数值型数值，也可设计为类别型数值。

本章述及栅格数据分析的基本工具，分六部分加以介绍。第一部分描述栅格数据分析的环境，包括区域范围参数和单元大小。第二至第五部分包括栅格数据分析的四种常见类型：局部运算、邻域运算、分区运算和距离量测。第六部分集中介绍空间自相关，一种很适于栅格数据的空间统计。

栅格数据分析在软件特定的栅格数据上操作，尽管这些栅格数据可从 DEM、卫星影像和 ASCⅡ 文件等相同数据源导入。本章尽可能使用带有 Spatial Analyst 扩展模块的 ArcView。ArcView 提供了许多与 ARC/INFO GRID 相类似的功能。

11.2 数据分析环境

栅格数据分析以设立分析环境开始，包括用于分析的区域范围和输出单元大小。用于分析的区域范围可以对应于特定格网，或最小和最大的 x、y 坐标定义的区域，或格网的组合。假如是不同区域范围的格网组合，用于分析的区域范围可基于格网的联合（union）或相交（intersect）。联合选项使用的区域范围包括所有输入的格网，而相交选项使用的区域范围为所有输入格网的共同部分。

掩模格网（mask grid）也能决定分析的区域范围。掩模格网仅限于对不具有无数据（No Data）单元值的单元作分析。例如，限于仅对私有土地分析土壤侵蚀的一种办法是把公有土地编码为无数据。数据查询和再分类可用于生成掩模格网（注释栏 11.1）。但要注意的是无数据不同于零，因为零是有效的单元值。在某些情况下，无数据仅指格网缺乏数据。例如，由 DEM 制备的高程格网沿其边界可能含有无数据的单元。

如何制作掩模格网

在 ArcView 中制作掩模格网需要下列一些步骤。首先,用 Map Query(地图查询)对要排除在分析之外的单元赋一个特定值,比如 99。然后,用 Reclassify(再分类)把 No Data 赋予该特定值。来自 Reclassify(再分类)的输出格网即掩模格网。对于非局部运算的一些栅格数据运算需要单独的掩模格网(见 11.3)。对于局部运算,带有 No Data 的单元将被自动从分析中排除。在 ARC/INFO GRID 中制作掩模格网也涉及两个步骤:用 SELECT(选择)功能对未选单元赋值为 No Data,然后用 SETMASK 命令指明来自 SELECT 的输出结果为掩模格网。

GIS 用户可以任何合适的比例尺定义输出单元的大小。通常情况是,输出单元大小设为等于或大于输入格网中最大的单元大小。这符合输出精度对应于输入格网的最低精度的原理。例如,如果输入格网单元大小为 10m 和 30m,输出单元大小应该是 30m 或更大。

11.3 局部运算

局部运算是一个单元接一个单元运算,构成栅格数据分析的核心。局部运算由单个或多个输入格网生成一个新的格网,新格网的单元值由输入与输出的关系函数计算而得。

11.3.1 单一格网的局部运算

如果输入单一格网,局部运算以输入格网单元值的数学函数计算输出格网的每个单元值。例如,ArcView 为局部运算提供了算术、对数、三角和幂函数(图 11.1)。

算术	+,-,/,*,绝对值,整型,浮点型
对数	指数,对数
三角函数	sin,cos,tan,arcsin,arccos,arctan
幂	平方,平方根,幂

图 11.1 ArcView 为局部运算提供的算术、对数、三角和幂函数。

例如,浮点型格网转换为整型格网就是一种简单的局部运算,它用 INTEGER 功能一个单元一个单元地截去单元值的小数。把用百分数表示的坡度格网转换为用度表示的坡度格网也是一种局部运算,但需要更复杂的数学表达式。图 11.2 的表达式slope_d = 57.296* arctan (slope_p / 100),把用百分数表示的 slope_p 转化成以度表示的slope_d。由于计算机软件包在三角函数中一般都使用弧度而不是角度,需要用常数 57.296 (360/2π,这里 π 等于 3.1416) 把弧度转变为角度。

(a)

15.2	16.0	18.5
17.8	18.3	19.6
18.0	19.1	20.2

(b)

8.64	9.09	10.48
10.09	10.37	11.09
10.20	10.81	11.42

图 11.2 坡度格网可用百分数(a)或度数(b)表示。局部运算可用于这两种测度系统的转化。

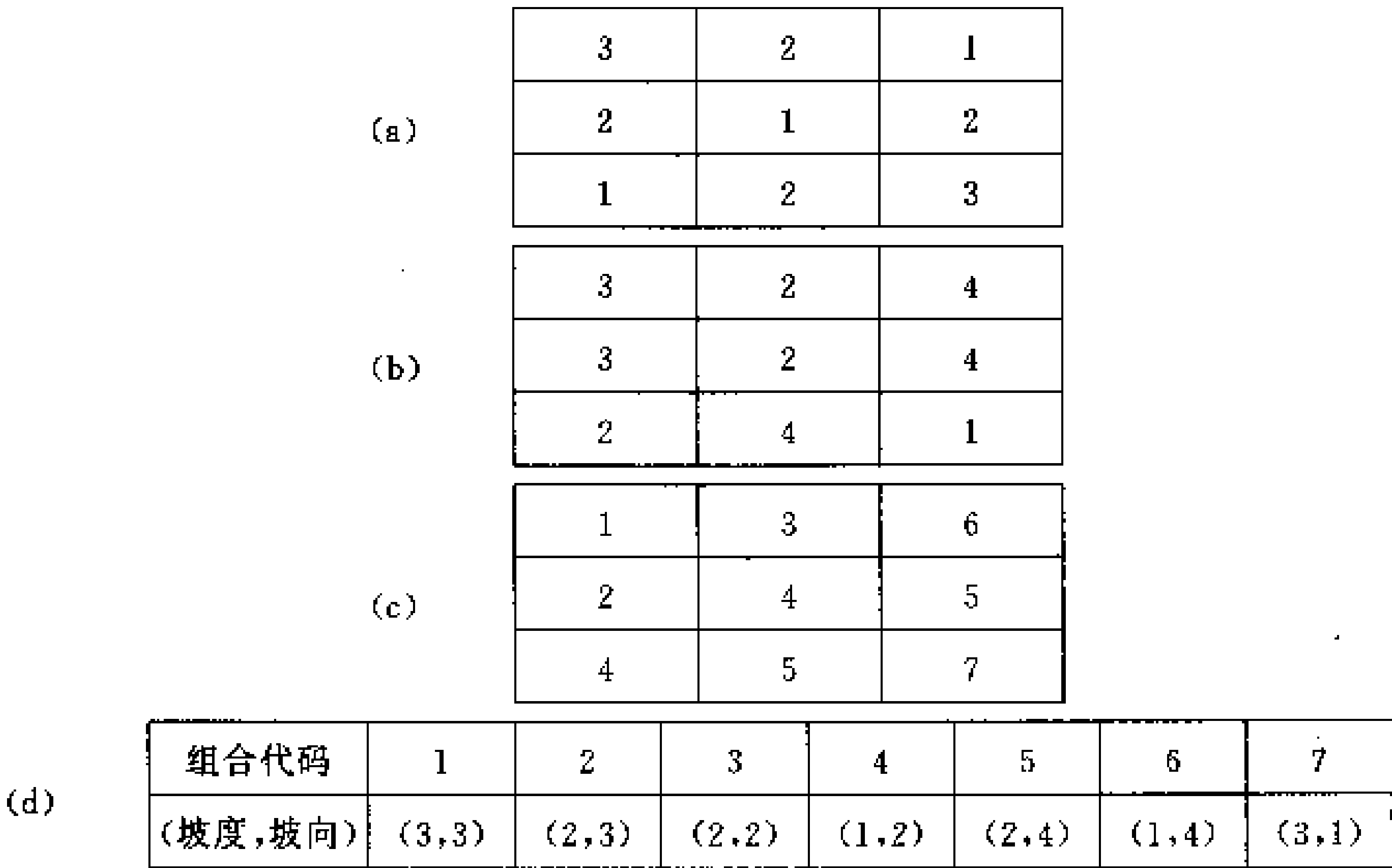
11.3.2 多个格网的局部运算

多个格网的局部运算也涉及地图合成(compositing)、叠加(overlaying)或添加(superimposing)(Tomlin　1990)。这些局部运算与把空间和属性数据结合起来的矢量地图叠加相类似,但效率更高(Chrisman　1997)。由于局部运算中格网单元的大小和位置相同,无需作输出格网几何形状的工作。对比之下,地图要素之间的交叉(intersections)计算是用与矢量数据作地图叠加所必需的。

多个输入格网比单个输入格网可作更多的局部运算。除了数学函数可用在单一格网之外,基于输入格网的单元值或其频率的量测也可被导出并储存于输出格网。概要统计(包括最大值、最小值、值域、总和、平均值、中值和标准差)都是以数值型数据用于格网的测度。例如,用平均统计量的局部运算可从 20 个输入格网计算一个年平均降水量格网,这 20 个输入格网中的每个格网都以年降水数据作为其单元值。

其他适于数值型或类别型数据格网的测度有多数、少数和惟一值数目的统计量。多数(majority)输出格网对每个单元列出输入格网中频率最高的单元值,少数(minority)输出格网列出输入格网中频率最低的单元值,种类(variety)格网列出不同单元值的数目。

一些局部运算不涉及统计或计算。在 ArcView 和 ARC/INFO 中的所谓 Combine(组合)局部运算,给每个惟一的输入值组合赋予一个惟一输出值。假设坡度格网有三个单元值(0～20%、20%～40%和大于 40%),坡向格网有四个单元值(北、东、南和西)。组合运算生成的输出格网为每个坡度和坡向的组合值,如 1 代表坡度大于 40%和南坡,2 代表坡度为 20%～40%和南坡,其余类推(图 11.3)。



(a)

3	2	1
2	1	2
1	2	3

(b)

3	2	4
3	2	4
2	4	1

(c)

1	3	6
2	4	5
4	5	7

(d)

组合代码	1	2	3	4	5	6	7
(坡度,坡向)	(3,3)	(2,3)	(2,2)	(1,2)	(2,4)	(1,4)	(3,1)

图 11.3　Combine(组合)运算产生(a)和(b)中单元值的独特组合,并把惟一值赋给每种组合(c)。组合编码和其所代表的涵义如(d)所示。

11.3.3 ArcView 中的局部运算

GIS 用户可在 ArcView 中用 Cell Statistics(单元统计)或 Map Calculator(地图计算

器)运行局部运算。单元统计是用菜单驱动的,使用容易。然而,Map Calculator 的正确应用需要对 Avenue 这个 ArcView 的面向对象脚本语言有一定的理解。请求语句是 [object]. request (parameter)。例如,表达式 ([grid1]. int) 用 int 的请求把浮点型格网 grid1 转换成整型格网。表达式 (([grid1] / 100). ATan * 57.296) 把坡度格网量测单位由百分制转换成度数。加在 [grid1] / 100 外面的括号确保了当 Grid1 除以 100 之后与 Atan 运算。int 或 Atan 都不使用参数选项。

Map Calculator 对话框把各种请求汇集在菜单选项:算术运算、逻辑运算、布尔连接符、数学函数(算术、对数、三角和幂函数)。ArcView 用户可从 Map Calculator 菜单中选择或直接在表达式方框中输入来准备逻辑运算表达式。

除了在 Map Calculator 对话框中的请求外,还可以使用另外请求。Combine(组合)就是一例。将 grid1 和 grid2 组合的表达式如下:([grid1]. combine({[grid2]}))。本例中的参数是要与 grid1 作组合的格网清单。上述表达式中的花括号引出目录,尽管该目录仅包含 grid2。本章后面将用到另外请求。

11.3.4 局部运算的应用

作为栅格数据分析的核心,局部运算有许多用途。例如,探测变化的研究可利用 Combine(组合)运算产生的惟一组合来追踪单元值的变化(如植被覆盖变化)。局部运算对于要求数学计算的 GIS 项目或许是最有用处的。

通用土壤流失方程式(USLE) (Wischmeier 等 1978)在方程中采用了 6 个环境因素,

$$A = RKLSCP \tag{11.1}$$

式中:A 为土壤平均流失量(t);R 为降雨强度;K 为土壤可蚀性;L 为坡长;S 为坡度;C 为耕作因素;P 为水土保持措施因素。把每个因素制备为输入格网,这些格网通过局部运算产生土壤平均流失量的输出格网。

Mladenoff 等(1995)的一项研究利用对数回归(logistic regression)模型预测狼的适宜栖息环境,

$$\text{logit}\ (p) = -6.5988 + 14.6189\ R \text{ 和 } p = 1/(1+e^{\text{logit}(p)}) \tag{11.2}$$

式中:p 是狼群出现的概率; R 是道路密度;e 是自然对数底。logit (p)可由以道路密度格网作为输入的局部运算计算而得。同样,p 可由以 logit(p)作为输入的另一个局部运算计算而得。

因为格网在局部运算中被叠置,误差传递可能是输出结果解译上的一个问题。不像矢量数据,栅格数据不直接涉及数字化误差,其误差的主要来源是单元值的质量,它同样也可以追溯到其他数据来源。例如,如果栅格数据是由卫星影像转换而来的,用于评价卫星影像分类精度的统计量可用于评价栅格数据的质量(Congalton 1991,Veregin 1995)。但是,这些统计量是基于二元数据(例如,分类正确与否),与第 10 章里用在 Newcomer 和 Szajgin 模型(1984)中的相似。间隔数据和比例数据的误差传递模拟更难(Heuvelink 1998)。

11.4 邻域运算

邻域运算涉及一个中心点单元和及其一组环绕单元。环绕单元是相对于中心点单元的距离或距离与方向关系而选定的。常见邻域包含一个中心点单元和它的四个紧邻，而在 3×3 窗口中则包含中间的一个中心点单元和它的 8 个邻接单元(图 11.4)。其他邻域类型为圆形、环形和楔形。圆形邻域是以中心点单元为圆心，以指定半径延伸扩展。环形或圈饼状邻域是由一个小圆和一个大圆之间的环形区域组成。楔形邻域是指以中心点单元为圆心的圆的一片。

−1,−1	0,−1	1,−1
−1,0	0,0	1,0
−1,1	0,1	1,1

图 11.4 中心点单元和其邻域单元之间的空间关系可以列和行为基础。

邻域运算一般用邻域内的单元值与中心点的单元值作计算或仅用邻域内的单元值作计算，然后把计算值赋给中心点单元。尽管邻域运算在单一格网中进行，其过程类似于多个格网局部运算。邻域运算使用所定义邻域的单元值，而不用不同的输入格网的单元值。

邻域运算的输出结果可显示概要统计量，包括最大值、最小值、值域、总和、平均值、中值和标准差，以及多数、少数和种类的测度表格。为了完成一个格网的邻域运算，中心点单元是从一个单元移到另一个单元，直至所有单元都被访问。

11.4.1 ArcView 中的邻域运算

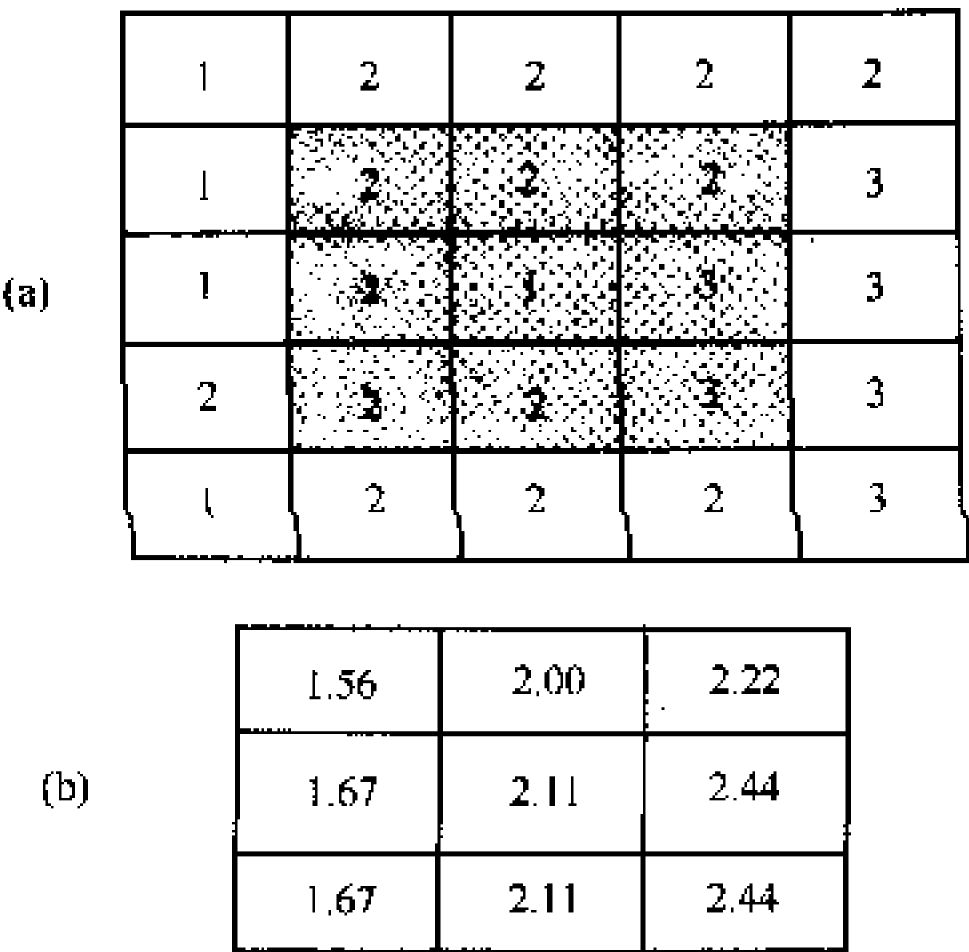
ArcView 有个菜单选项为 Neighborhood Statistics(邻域统计)，设计用于以格网或点状要素图为输入的邻域运算。在栅格数据运算中直接利用矢量地图是方便的。如果输入是点状要素地图，其属性表的字段值可用于计算。Neighborhood Statistics 对话框有两种输入项：统计量和邻域。统计量输入项包括最小值、最大值、平均值、中值、总和、值域、标准差、多数、少数和种类等选项。邻域输入项有矩形、圆形、环形和楔形。对话框显示用于邻域尺寸的输入字段(如矩形邻域的宽度和高度)，取决于选择的是哪种邻域。

ArcView 有个称作 BlockStats 的运算，它也可计算指定邻域或块的统计量。不同之处在于 BlockStats 把计算值赋予输出格网的所有块单元。因此，其运算不是从一个单元移到一个单元，而是从块到快。

11.4.2 邻域运算的应用

邻域运算的一个重要用途是数据简化。例如，滑动平均法在输入格网中减少了单元值波动水平(图 11.5)。该方法通常用 3×3 或 5×5 矩形作为邻域。随着邻域从一个中心单

元移到另一个，计算出在邻域内的单元平均值并赋予该中心单元。滑动平均的输出格网表示初始单元值的平滑化。另一例子是以种类为测度的邻域运算，列出在邻域之内有多少不同的单元值，并把该数目赋予中心点单元。例如，这种方法用于表示输出格网中植被类型或野生物种的种类。



(a)

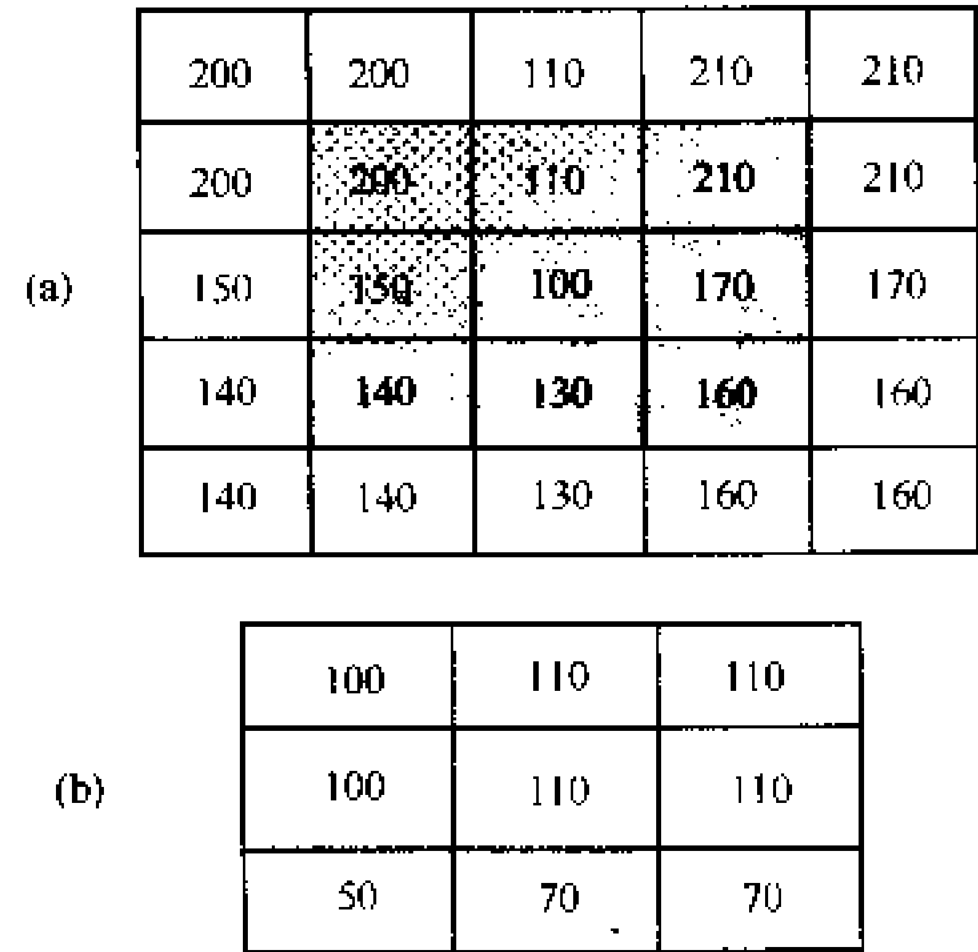
1	2	2	2	2
1	2	2	2	3
1	2	1	3	3
2	3	2	3	3
1	2	2	2	3

(b)

1.56	2.00	2.22
1.67	2.11	2.44
1.67	2.11	2.44

图 11.5　滑动平均法在移动视窗内计算单元值的平均值，并把该平均值赋予中心点单元。本图中，(b)中单元值是(a)中阴影单元以 3×3 移动视窗的滑动平均值。

在图像处理中常见邻域运算在不同时候有不同名称，如用于空间要素处理的过滤、盘旋和视窗移动操作(Lillesand 等　2000)。例如，边缘增强可用值域过滤器，即用值域统计的邻域运算(图 11.6)。值域是所定义邻域内最大值和最小值之差的测度。与边缘增强相反的是基于多数测度的平滑运算(图 11.7)。多数运算是把频率最高的单元值赋予邻域内的每个单元，这样生成一个比初始格网更平滑的格网。



(a)

200	200	110	210	210
200	200	110	210	210
150	150	100	170	170
140	140	130	160	160
140	140	130	160	160

(b)

100	110	110
100	110	110
50	70	70

图 11.6　在本图中，(b)中的单元值是对(a)的阴影单元用值域统计量由 3×3 邻域运算导出的。

地形分析是在很大程度上依赖于邻域运算的另一个研究领域(参见第 12 章)。一个单

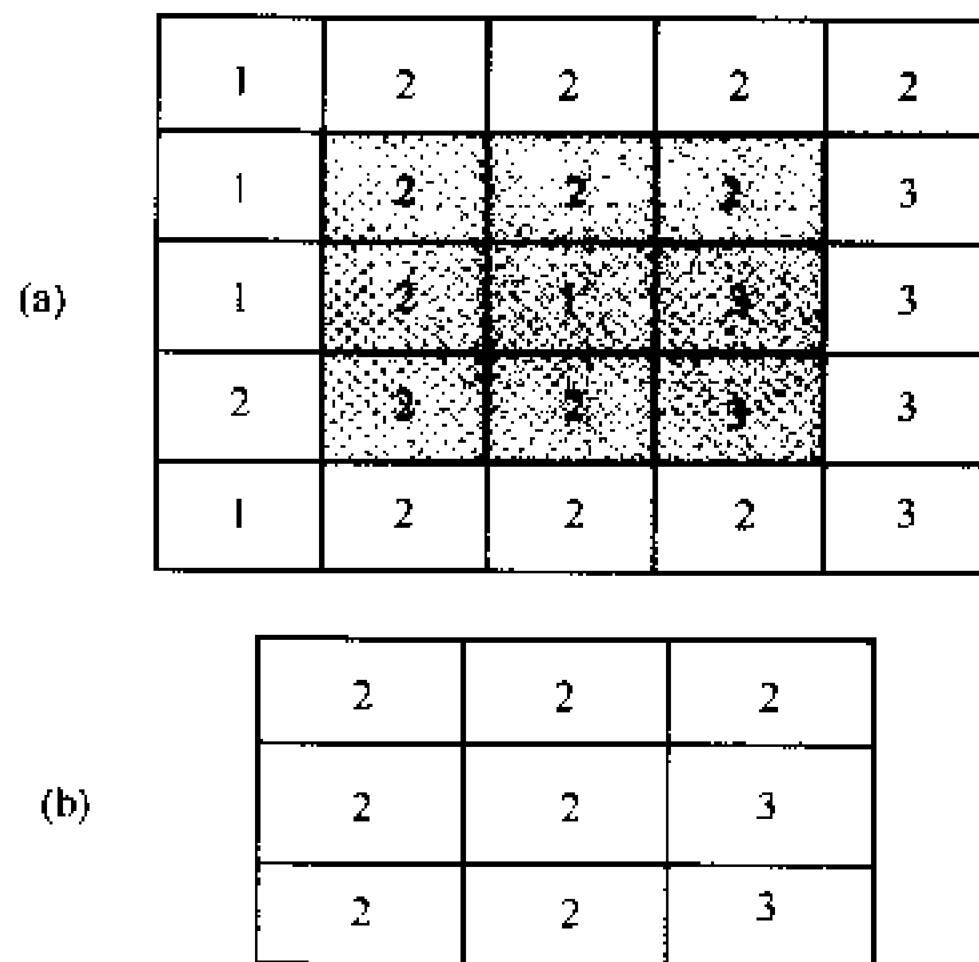


图 11.7　在本图中，(b)中的单元值是对(a)的阴影单元用多数统计量由 3×3 邻域运算导出的。

元的坡度、坡向和表面曲率的测度都是用其邻域单元的高程值由邻域运算导出的。

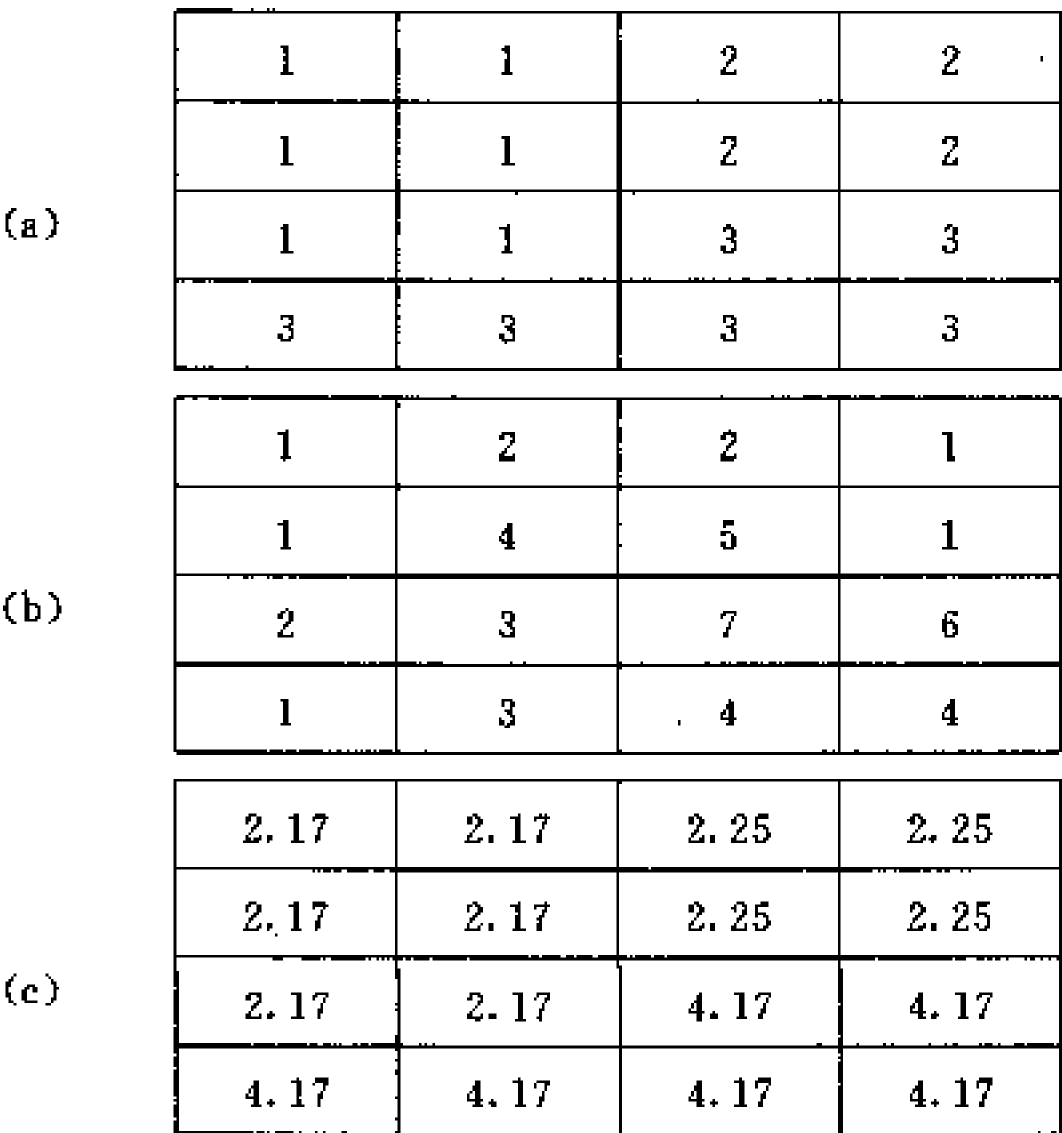
对于需要由其邻域特征来选择单元的研究，邻域运算也是重要的。例如，安装重力喷灌系统需要有关单元的圆形邻域内落差的信息。假设系统要求在 0.5mi 距离内具有 130ft 落差方为金融上可行，通过用半径为 0.5mi 的圆形作邻域、高程值域为统计量，在高程格网上作邻域运算，可得到答案。输出格网的查询可显示哪些单元符合标准。

由于在所定义范围内作概要统计的能力，邻域运算还可用于为满足研究指定指标的选点。以 Crow 等(1999)的一项研究为例，该研究用局部运算从 16 块土地中选择一个分层随机样品，代表位于威斯康星州两个区域生态系统内的两种所有权。

11.5　分带运算

分带运算用于处理相同数值或相似要素的单元组，这些组称为地带。地带未必相连。分带运算可对单一格网或两个格网进行处理。假如为单个输入格网，分带运算用于描述地带的几何形状，诸如面积、周长、厚度和矩心。面积为该地带内单元总数乘以单元大小。连续地带的周长就是其边界长度。而由分离区域组成的地带，周长为每个区域的长度之和。厚度以每个地带内可画的最大圆的半径来计算。矩心决定了最近似于每个地带的椭圆形的参数，包括矩心、主轴和次轴。地带的这些几何形状测度对于景观生态研究尤其有用(Forman 等　1986)。

在分带运算中假如是两个格网(一个输入格网和一个分带格网)，分带运算产生输出格网，它对分带格网中的每个地带概括出输入格网的单元值。概要统计量包括面积、最小值、最大值、总和、值域、平均值、标准差、中值、多数、少数和种类。如果输入格网为浮点型格网，则无最后四个测度。图 11.8 说明地带平均值计算的分带运算。图 11.8(a)是有三个地带的分带格网，图 11.8(b)是输入格网，图 11.8(c)是输出格网。



(a)

1	1	2	2
1	1	2	2
1	1	3	3
3	3	3	3

(b)

1	2	2	1
1	4	5	1
2	3	7	6
1	3	4	4

(c)

2.17	2.17	2.25	2.25
2.17	2.17	2.25	2.25
2.17	2.17	4.17	4.17
4.17	4.17	4.17	4.17

图 11.8 本图的分带运算用(a)中的地带 1、2、3 和(b)中的单元值计算得地带平均值为 2.17、2.25 和 4.17。输出格网如(c)所示。

11.5.1 ArcView 中的分带运算

ArcView 中的 Map Calculator 可计算输入格网中地带的几何形状。这种计算通过 ZonalGeometry 请求，用一个参数来完成，该参数表述要计算的几何描述符的类型。几何描述符或测度包括面积、周长、厚度和矩心。例如，表达式([grid1].ZonalGeometry(#GRID_GEOMDESC_THICKNESS))计算 grid1 中每个地带的厚度。

在 ArcView 中两个格网的分带运算是通过三个菜单选择来完成的：Summarize Zones(概括地带)、Histogram by Zone(地带柱状图)和 Tabulate Areas(面积列表)。Summarize Zones 计算面积、最小值、最大值、值域、平均值、标准差、总和、种类、多数、少数和中值。Summarize Zones 用激活专题(可以是整型格网或多边形要素地图)作为分带格网，用户选择的格网作为输入格网。运算输出结果为一个表格，列出每个地带的单元数目、面积和统计量。用户也可选择概要统计以地带和统计量为两轴制作柱状图。Histogram by Zone 不执行计算，但在柱状图中绘出输入格网和分带格网的单元值。Tabulate Areas 生成按输入格网和分带格网的单元值分类的面积表格。

11.5.2 分带运算的应用

面积、周长、厚度和矩心是用于景观生态学的一大组几何学测度的一部分(McGarigal 等 1994)。其他的几何学测度常常可由面积和周长导出。例如，一种称为地区完整度的外形指数定义为 354 乘以地带面积的平方根，除以其周长(Tomlin 1990)。地区完整度基本上是把地带外形与圆作比较。地区完整度逼近 100 为圆形，0 为高度扭曲的形状。这个测度只应用在连续地带的格网。在 ArcView 中我们可用下列表达式计算地区完整度：

(((([grid1].ZonalGeometry(#G。RID_GEOMDESC_AREA)).Sqrt * 354) /

([grid1]. ZonalGeometry(#GRID_GEOMDESC_PERIMETER)))

式中:grid1 是输入格网;Sqrt 是平方根函数。关于应用这个长表达式的最重要事项可能是确认括号的正确应用。在 ARC/INFO GRID 中,可用简单得多的表达式完成同样任务(注释栏 11.2)。

在 ARC/INFO GRID 中计算区域完整度

在 ARC/INFO GRID 中计算 grid1 中每个地带的区域完整度的语句如下:

outgrid = 354 * sqrt(zonalarea(grid1)) / zonalperimeter(grid1)

式中:outgrid 为输出格网;zonalarea 和 zonalperimeter 为 ARC/INFO GRID 用于计算地带面积和周长的函数。该语句比 ArcView 要求的表达式简单。

使用两个格网的分带运算在生成用于比较目的描述性统计中很有用处。例如,为了比较不同土壤质地的地形特征,我们可用含有砂土、壤土和黏土等类别的土壤格网作为分带格网,坡度、坡向和高度作为输入格网,通过运行一系列分带运算,我们便可总结出三种土壤质地类型的坡度、坡向和高度特征。

11.6 距离量测运算

距离量测运算计算与源单元的距离。量测距离的单元与源单元是在同一格网。本类运算的一个例子,是在一个河流格网中计算每个单元与最近河流的距离。距离量测运算又称作扩展的邻域运算(Tomlin 1990)或全局运算,因为它们覆盖整个研究区域。

在格网中的距离量测遵循节点链接关系(图 11.9)。节点代表单元的中心,链接(无论横向或斜向链接)把节点与其邻接单元连接起来。距离是沿着各单元中的链接计算的:横向链接为 1.0 单元,斜向链接为 1.4142 单元。

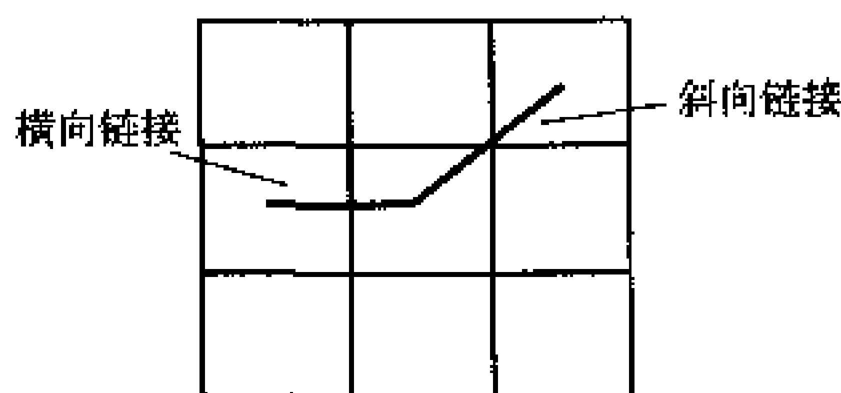


图 11.9　格网中的距离量测沿链接进行,链接是在单元的中心把单元连接起来。横向链接连接两个直接邻域,而斜向链接连接两个斜向邻域。

在栅格数据分析中的距离可以表达为自然或欧几里得距离与成本距离。**自然距离**是通过将两个单元之间的链接累加并乘以单元的大小来量测距离的,而**成本距离**量测的是穿越自然距离的成本。例如,卡车司机对穿越一条路径的时间和燃料成本比其自然距离更感兴趣。本例中的成本距离不仅取决于自然距离,而且取决于限速和路况。

一些距离量测运算将在后续讨论,且将涉及方向。格网中的方向量测遵循从一个中心单元到它的八个相邻单元的八个基本方向。以度表示,并取顺时针方向,即 0°或 360°、45°、90°、135°、180°、225°、270°和 315°。当一个格网包含方向量测时,它们是以 0～8 的数字编码而不用度数编码(图 11.10)。

6	7	8
5	0	1
4	3	2

图 11.10 在方向格网中的方向量测是以数字编码的。中心点单元的编码为 0。数字编码从 1～8 分别表示 90°、135°、180°、225°、270°、315°和 360°，即顺时针方向以 45°增量。

11.6.1 自然距离量测运算

自然距离量测运算用单元作为量测单位。自然距离量测运算分为两种情况。第一种是以连续距离对源单元建立缓冲，如此在整个格网上创建一系列波装距离带(图 11.11)。第二种运算是对格网中的每个单元确定与其最近的源单元的自然距离(图 11.12)。

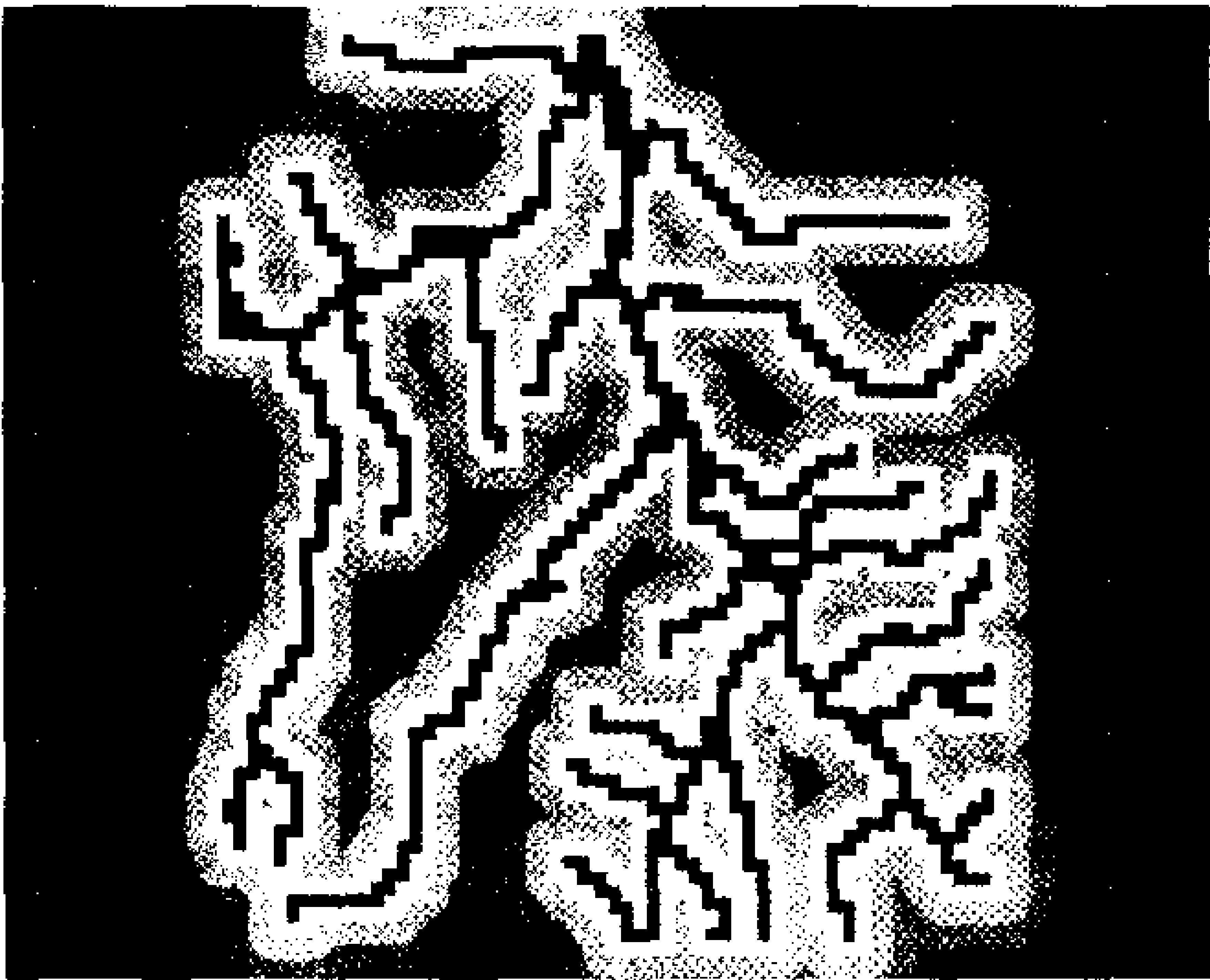


图 11.11 一个河网的连续距离量测举例。

11.6.2 成本距离量测运算

成本距离量测运算用经由每个单元的成本或阻抗作为距离单位。成本距离量测运算比空间距离量测运算更复杂。首先，成本距离量测运算需要另一个格网来定义经过每个单元的成本或阻抗。成本格网中每个单元的成本经常是几种不同成本之和。例如，管线建设成本可能包括建设和运作成本以及环境影响的潜在成本(注释栏 11.3)。给定一个成本格网，其横向链接的成本距离为所链接单元的成本的平均数。斜向链接的成本是平均成本乘以 1.4142(图 11.13)。



图 11.12　把每个单元指派给与其最近的河流的例子。

用于管线选址分析的成本格网

管线工程的选址分析必须考虑建设和运作成本。可能影响成本的一些变量包括：

- 从源地到目的地的距离；
- 地形，如坡度和等级；
- 地质，如岩石和土壤；
- 河流、道路和铁路交叉口的数目；
- 用地成本；
- 与人口中心的接近度。

此外，选址分析还应考虑建设期间环境影响的潜在成本和工程完成之后事故导致的责任成本。提议的管线工程的环境影响可能涉及以下各方面：

- 文化资源；
- 土地利用、休闲娱乐和美学；
- 植被和野生动植物；
- 水的利用和质量；
- 湿地。

上述每个变量都必须以实际成本或相对成本值(可能性更大)来估量。相对成本是等级值，例如，成本可列为从 1～5 的等级，5 为最高等级价值。每个成本变量在被评估之后都制成格网。最后的步骤是把单个成本格网加起来作为总的成本格网。

成本距离量测运算的目标不再是计算每个单元与最近源单元的距离，而是寻找一条最小累积成本的路径。成本的计入引起了连接一个单元与源单元许多条路径，每条路径具有不同的累积成本。寻找最小累积成本的算法遵循迭代过程，始于与源单元邻接的激活单元并计算这些单元计算成本。最小成本距离的单元由激活的单元目录中选择，其值被赋予输出格网。接着，邻接

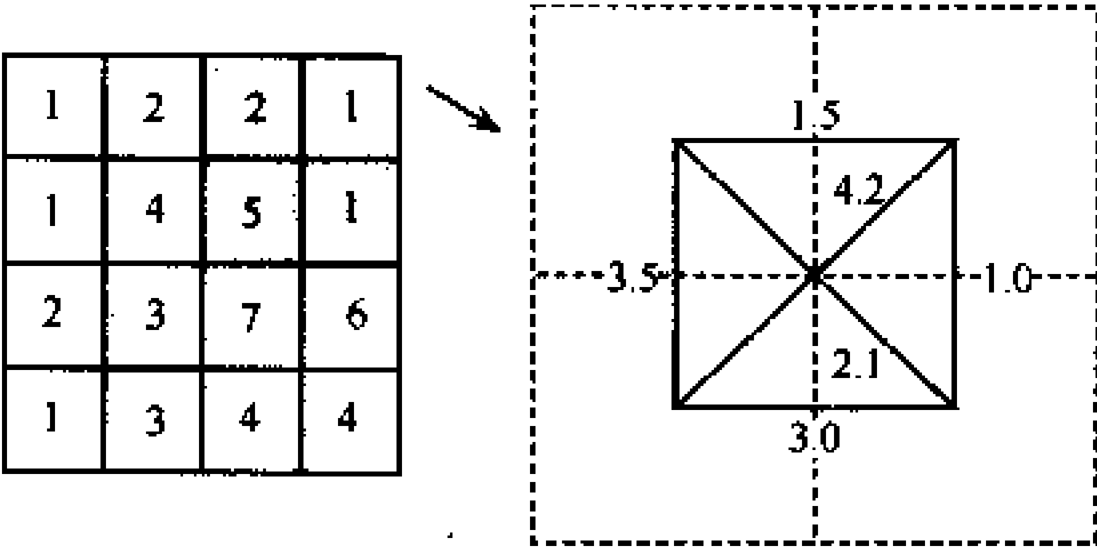


图 11.13　横向链接的成本距离是所链接单元的成本的平均值，例如，(1+2)/2=1.5。斜向链接的成本距离是平均成本乘以 1.4142，例如，1.4142×((1+5) / 2)=4.2。

该选中单元的单元被激活并加到激活的单元目录中。目录中的最小成本单元又被选取，其邻接的单元又被激活。每次单元被重新激活，意味着该单元由不同路径可通达源单元，其累积成本必须重新计算。然后最小累积成本被赋予这个重新激活的单元。这个过程继续进行，直到输出格网中的所有单元被赋予它们对源单元的最小累积成本。

图 11.14 解释了成本距离量测运算。图 11.14(a)显示一个源单元在对角的格网。图 11.14(b)表示一个成本格网。为简化计算，两个格网的单元大小均设为 1。图 11.14(c)显示每个横向链接的成本和每个斜向链接的成本。图 11.14(d)显示每个单元的最小累积成

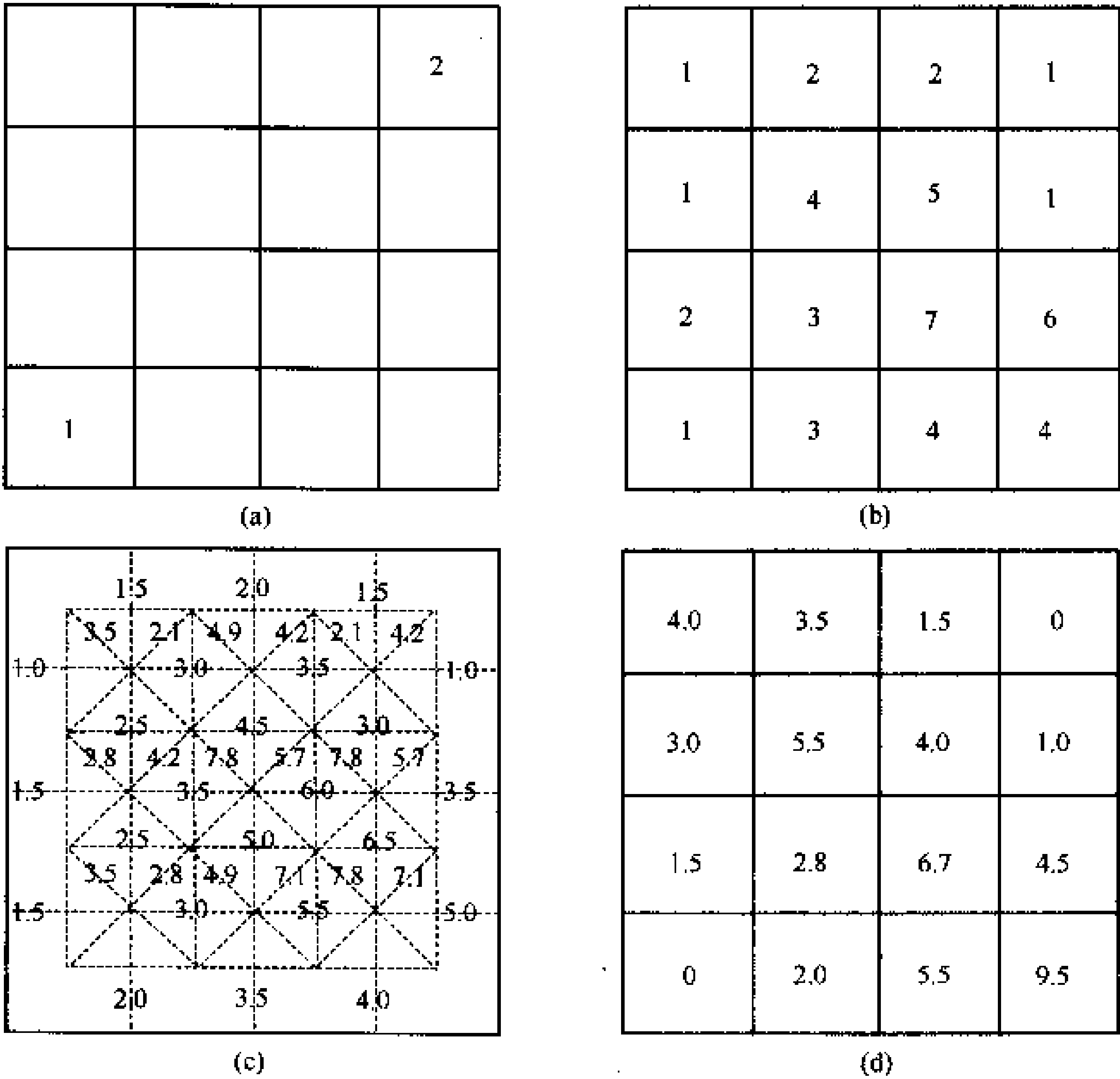


图 11.14　使用有两个源单元(a)的格网和成本格网(b)，本图说明每个链接的成本距离(c)和从每个单元到源单元的最小累积成本距离(d)。

本。图 11.14(d)的来由在注释栏 11.4 中解释。

最小累积成本格网的生成

步骤 1　激活与源单元邻接的单元，把这些单元置于激活目录中，计算每个单元的成本值。每个激活单元的成本价值如下：1.0、1.5、1.5、2.0、2.8、4.2。

		1.5	0
		4.2	1.0
1.5	2.8		
0	2.0		

步骤 2　最低值的激活单元被赋予输出格网，其邻接单元被激活。由于有了新路径，在第二行第三列的单元(已在激活目录中)必须再求值。随后，从选中单元横向链接的新路径生成较低的累积成本 4.0(原先的成本是 4.2)。激活单元的成本值如下：1.5、1.5、2.0、2.8、4.0、4.5、6.7。

		1.5	0
		4.0	1.0
1.5	2.8	6.7	4.5
0	2.0		

步骤 3　成本值为 1.5 的两个单元被选中，其邻接单元被置于激活目录中。激活单元的成本值如下：2.0、2.8、3.0、3.5、4.0、4.5、5.7、6.7。

	3.5	1.5	0
3.0	5.7	4.0	1.0
1.5	2.8	6.7	4.5
0	2.0		

步骤 4　成本值为 2.0 的单元被选中，其邻接单元被激活。激活的三个邻接单元中，两个的累积成本值为 2.8 和 6.7。其值保持不变，因为来自选中单元的供选路径产生较高的成本值(相应为 5 和 9.1)。激活单元的成本值如下：2.8、3.0、3.5、4.0、4.5、5.5、5.7、6.7。

	3.5	1.5	0
3.0	5.7	4.0	1.0
1.5	2.8	6.7	4.5
0	2.0	5.5	

步骤 5　成本值为 2.8 的单元被选中。其邻接单元都为从上一步骤赋予的累积成本值。这些值保持不变，因为它们都低于据新路径计算的值。

	3.5	1.5	0
3.0	5.7	4.0	1.0
1.5	2.8	6.7	4.5
0	2.0	5.5	

步骤 6 成本值为 3.0 的单元被选中。其右侧单元已赋成本值为 5.7，比由选上单元横向链接的成本值 5.5 高。

4.0	3.5	1.5	0
3.0	5.5	4.0	1.0
1.5	2.8	6.7	4.5
0	2.0	5.5	

步骤 7 所有单元均已赋予最低累积成本值，第四行第四列的单元除外。该单元从两个源单元计算的最低累积成本均为 9.5。

4.0	3.5	1.5	0
3.0	5.5	4.0	1.0
1.5	2.8	6.7	4.5
0	2.0	5.5	9.5

11.6.3 ArcView 中的距离量测运算

ArcView 提供有运行空间距离量测运算的菜单选项和运行成本距离量测运算的请求。Find Distance 菜单选项生成一个输出格网，该格网含有格网中远离源单元的距离量度，或矢量地图中要素的距离量度。不管是用 Map Query 或 Reclassify，都可以把这个连续距离格网转换成含有源单元的不连续距离缓冲区的格网。本章应用部分的习作 3 将述及这种转换过程。Assign Proximity 的菜单选项生成一个格网，该格网的每个单元被赋予其最近的源单元的值或要素地图中最近要素的 ID。

CostDistance 请求计算整个成本格网上的每个单元对于其最近源单元的最小累积成本。该请求具有生成方向格网（又称返还格网，显示最小成本路径的方向）和配置格网（显示指派给源单元的每个单元）的选项。用图 11.14 的同样数据，图 11.15(a) 显示两个单元的最小成本路径，图 11.15(b) 显示指派给这两个源单元的每个单元。图 11.15(b) 中最暗的那个单元是同时指派给两个源单元的。而且，最大距离参数可与 CostDistance 请求一起用于定义最小累积成本的阈值。CostPath 请求利用由 CostDi stance 请求生成的距离和方向格网，来生成源自任何单元或地带（相同值的单元集）的最小成本路径。本章应用部分的习作 4 用到了 CostDistance 和 CostPath。

11.6.4 距离量测运算的应用

如同环绕矢量要素的缓冲，自然距离量测运算应用很广。明尼苏达西北部大沙丘鹤 (greater sandhill cranes) 潜在栖息地的栅格模型 (Herr 等 1993) 是一个例子。该研究采

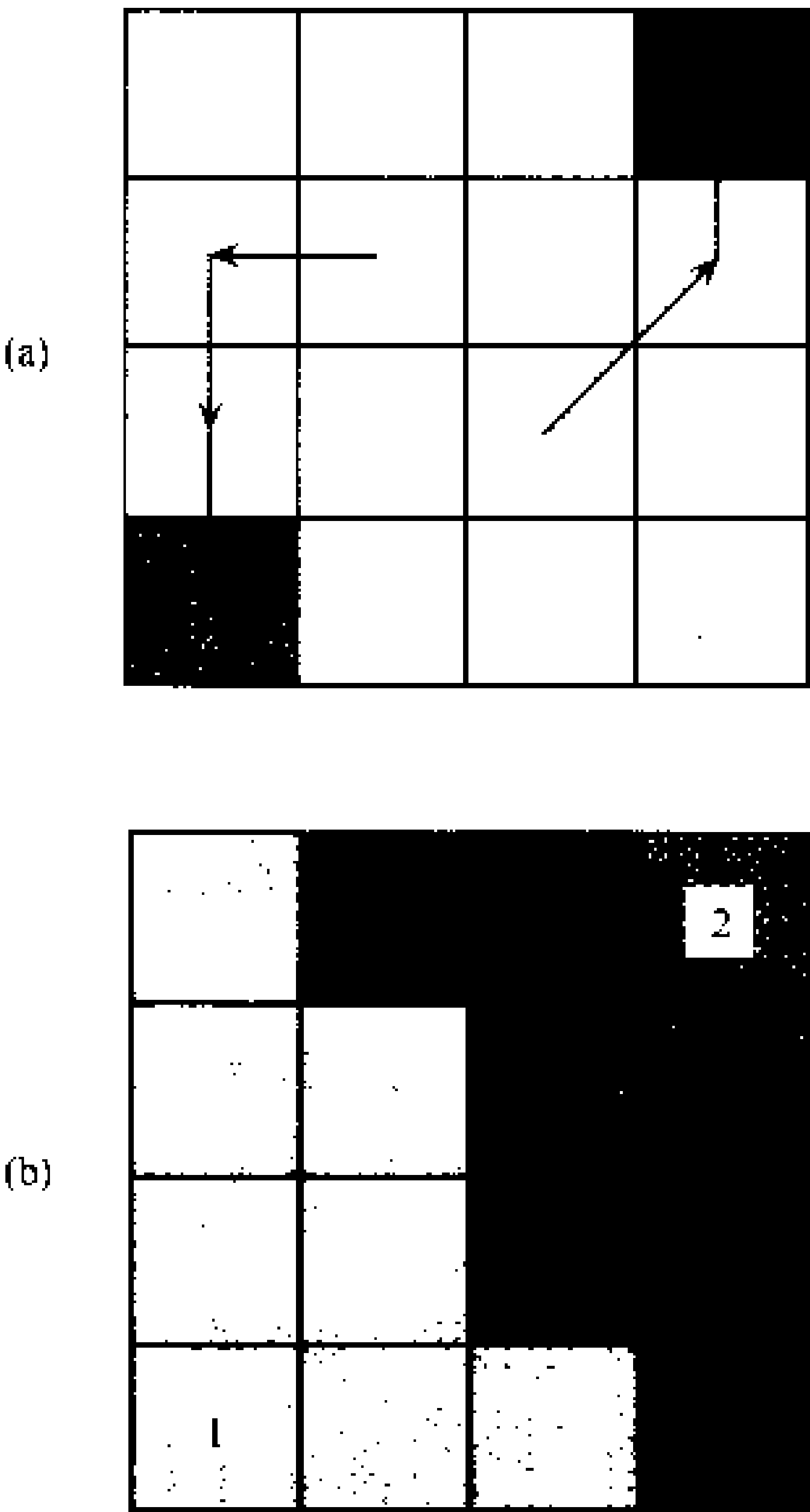


图 11.15　利用与图 11.14 中的同样数据，本图表明最后的成本路径(a)和配置格网(b)。

用 30m 分辨率单元，据陆地卫星专题制图仪(Landsat Thematic Mapper)数据编制一幅植被图。该研究利用量测远离未受干扰的植被、道路、建筑物和农地的连续距离带，该研究对潜在适宜栖息植被分为理想、尚理想、勉强和不适宜等几类。距离量测运算提供了实现模型的工具。

成本距离模型常用于道路和管线的定点分析，从成本格网寻找最低累积成本路径。成本不仅是阻抗的量测。例如，Hepner 等(1995)用阻抗格网建立了一个气体扩散模型，这个阻抗格网表示地表距离、坡度阻抗和风阻抗的乘积。假定累积阻抗值与地面上空密集气团随时间行进同步，该研究中的累积阻抗表示气体在释放地点(源单元)与研究区内任一给定单元之间传送的难度。

由于距离量测运算是基于单元的，精度不如环绕基于矢量要素的缓冲。同样情况出现在遵循八个基本方向作方向量测。因此，最低累积成本路径常显示为蜿蜒曲折的模式。

11.7　空间自相关

空间自相关根据数值的空间排列，量测变量值之间的关系(Cliff 等　1973)。如果类似数值在空间上相互接近，可描述为高度相关关系，如果数值排列识别不出模式，则为独立的或随机的。无显著空间自相关可验证假设的标准统计检验的应用。另一方面，显著空间自相关的存在，则鼓励研究者在分析中揭示空间依赖性(Legendre　1993)。空间自相关

很适于栅格数据分析，因为格网中的单元遵循明确定义的空间排列。

空间自相关不属于上述任何一种栅格数据运算，或许最好将其归为全局运算，因为空间自相关的计算用到格网中的每个单元，并生成用于整个格网的统计量。

莫兰(Moran)I 是一个普及的空间自相关量测，由下式计算：

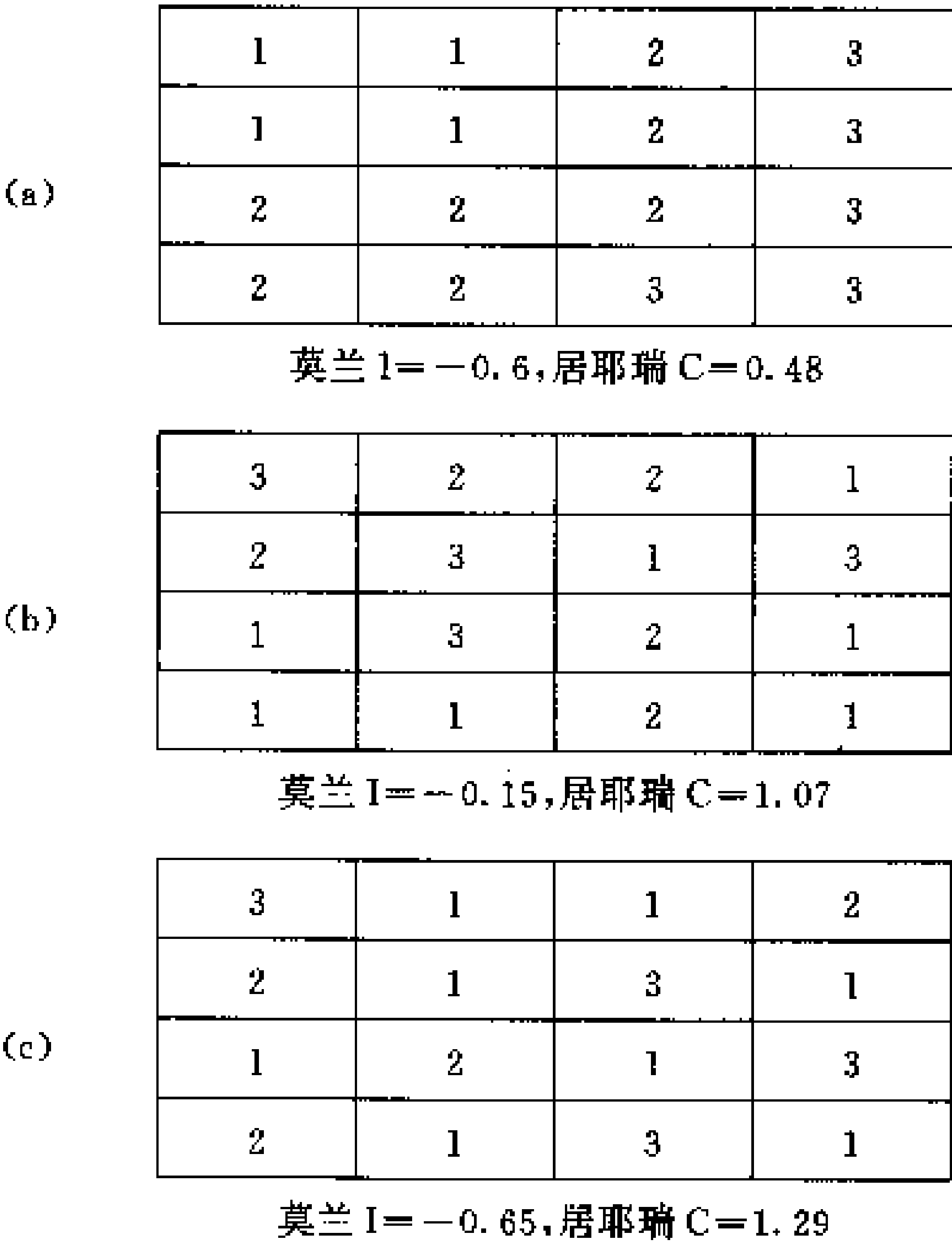
$$\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij}(x_i - x_m)(x_j - x_m) \Big/ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_m)^2 / n} \tag{11.3}$$

式中：x_i 为单元 i 的值；x_j 为单元 j 的值；x_m 为该格网单元数值的平均；w_{ij} 为系数；n 为该格网单元的总数。如果 j 是直接与 i 毗邻的四个单元之一，系数 w_{ij} 为 1，如果是其他单元或单元为无数据(No Data)，系数 w_{ij} 则为 0。当邻域区域有相似属性值，莫兰 I 为正，当邻域区域为不同数值，则为负，当属性值随机排列，则趋于 0。莫兰 I 取值趋于在 −1 与 1 变幅之间，但不限于这一变幅。

居耶瑞 c(Geary'c)是一种普及的空间自相关量测，由下式计算：

$$\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij}(x_i - x_j)^2 \Big/ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_m)^2 / (n-1)} \tag{11.4}$$

式(11.4)的符号注释与莫兰 I 相同。然而，莫兰 I 在计算中使用协方差 $(x_i - x_m)(x_j - x_m)$，居耶瑞 c 则使用方差 $(x_i - x_j)^2$。居耶瑞 c 取 1 作为随机模型，小于 1 为正相关模式，大于 1 为负相关模式。图 11.16 显示三种模式以及莫兰 I 和居耶瑞 c 的相关数值供比较。



(a)

1	1	2	3
1	1	2	3
2	2	2	3
2	2	3	3

莫兰 I=−0.6，居耶瑞 C=0.48

(b)

3	2	2	1
2	3	1	3
1	3	2	1
1	1	2	1

莫兰 I=−0.15，居耶瑞 C=1.07

(c)

3	1	1	2
2	1	3	1
1	2	1	3
2	1	3	1

莫兰 I=−0.65，居耶瑞 C=1.29

图 11.16 三组空间自相关统计量：(a)正相关模式；(b)随机模式；(c)负相关模式。

空间统计的新近发展已经包括了多距离空间自相关量测和局部自相关统计(Getis 等 1996,Lam 等　1996，Lee 等　2001)。ARC/INFO、IDRISI、GRASS 和 ILWIS 都能计算空间自相关。

重要概念和术语

成本距离:以在单元之间移动的成本或阻抗来量测的距离。

成本距离量测运算:用移经每个单元的成本或阻抗作为距离单位的一种距离量测运算。

分带运算:涉及相同数值或相似要素的单元组的一种栅格数据分析运算。

局部运算:栅格数据分析中一个单元接一个单元的运算。

距离量测运算:计算离开指定源单元的距离的一种栅格数据运算。

居耶瑞 c:用方差进行计算的一种空间自相关统计量。

空间自相关:一种空间统计,它根据数值的空间排列来量测变量数值之间的关系。

邻域运算:涉及一个中心点单元和一组环绕单元的栅格数据分析。

莫兰 I:用协方差进行计算的一种空间自相关统计量。

掩模格网:把栅格数据分析局限于不含无数据单元的一种格网。

自然距离:以两个单元之间的链接数之和乘以单元大小为测度的距离。

自然距离量测运算:用单元作为单位的一种距离量测运算。

应用:栅格数据分析

本章应用部分涵盖栅格数据分析基本运算。习作 1 包括局部和邻域运算;习作 2 应用分带运算;习作 3 包括数据查询中的空间距离量测运算;习作 4 应用 COSTDISTANCE(成本距离)和 COSTPATH(成本路径)请求,解决最小累积成本距离问题。

习作 1　局部和邻域运算

所需数据:高程格网 emidalat,单元分辨率为 30m。

习作 1 让你运作两个栅格数据处理。第一个应用局部运算将 emidalat 的高程数值由米转化为英尺;第二个应用邻域运算归纳 emidalat 的高程数值。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图,并将 emidalat 加到视图。从 View 下拉菜单选择 Properties 并将地图单位设定为 m。
2. 从 Analysis 下拉菜单选择 Map Calculator。在弹出的对话框里,在 Layers 目录中双击 emidalat,点击乘法(*)按钮,由键盘键入 3.28。常数 3.28 是用于把高程数值由米转化成英尺。你将在表达式方框内看到([emidalat]* 3.28)。点击 Evaluate。
3. 该输出名称为 Map Calculation 1,它以英尺显示 emidalat。Map Calculation 1 是临时格网。你可从 Theme 下拉菜单选择 Save Data Set 将该格网存盘,为其指定文件名和路径。
4. 继续习作 1 的第二部分,激活 emidalat。

5. 从 Analysis 菜单选择 Neighborhood Statistics(邻域统计)。在 Neighborhood Statistics 对话框中,确认 Statistic 为平均值,Neighborhood 为矩形,Width 和 Height 均为 3(单元)。点击 OK。带有单元值的滑动平均值的输出名称为 NbrMean of Emidalat。对新格网专题的复选框打钩来观察视图。除非细看,否则或许说不出新格网与 emidalat 有何不同。确认 NbrMean of Emidalat 为激活状态,从 Theme 下拉菜单选择 Properties。注意在 Theme Properties 对话框中,新格网单元大小为 30m,与 emidalat 相同。对话框还显示新格网具有 Temporary 状态。你可从 Theme 选择 Save Data Set,并指定文件名和路径。

习作 2 分带运算

所需数据:表示爱达荷州年平均降水量的格网 precipgd;流域格网 hucgd。

习作 2 请你导出爱达荷州按流域的年降水量统计值。precipgd 和 hucgd 的投影均为爱达荷横轴麦卡托(Mercator)坐标系统,以米为单位。降水的单位为 1/100in,例如,单元值为 675 即是 6.75in。

1. 启动 ArcView,加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图,把 precipgd 和 hucgd 加到视图。在本运算中,hucgd 为分带格网,precipgd 为输入格网。
2. 激活 hucgd,从 Analysis 下拉菜单选择 Summarize Zones。在弹出的对话框中,确认 precipgd 为要总结的专题。
3. 你可选择一个统计量来作图。选择平均值作图。
4. Zones of Hucgd 内的 Stats of Precipgd 表格按流域列出年降水量的统计值:最小值、最大值、值域、平均值、标准差、总和、种类、少数和多数。

习作 3 自然距离量测

所需数据:表示河流的格网 strmgd;表示高度带的格网 elevgd。

习作 3 要求你查找一个植物种类的潜在生长环境。strmgd 中的单元值是河流的 ID 值。elevgd 中的单元值是高度带 1、2 和 3。两个格网的单元分辨率均为 100m。该植物种类的潜在生长环境必须满足下列指标:

高度带为 2,且与河流的距离在 200m 之内

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst 扩展模块。
2. 打开一个新视图,把 strmgd 和 elevgd 加到视图。从 View 下拉菜单选择 Properties,指定地图单位为 m。
3. 第一步,创建离河流 200m 的距离带。从 Analysis 下拉菜单选择 Find Distance,Spatial Analyst 扩展模块创建了一个名为 Distance to Strmgd 的新格网。新格网以默认的分类系统出现。你可对格网重新分类,以建立距河流 200m 以内和以外两个距离带。激活 Distance to Strmgd。从 Analysis 下拉菜单选择 Reclassify。在 Reclassify Values 对话框里点击 Classify,把类型数改为 2,点击 OK。接着在 Old Values 下点击第一个单元,把数字值域改为 0~200;在 Old Values 下改变第二个单元值为 201~2421,第三个单元保留 No Data(无数据)不变。点击 OK。
4. Reclassify 功能把名为 Reclass of Distance to Strmgd 的新格网加到视图。该新格

网只有三个数值：1、2 和 No Data（无数据）。取值为 1 的单元为距河流 200m 范围之内。

5. 习作 3 的最后一步是查询 Reclass of Distance to Strmgd 和 Elevgd。从 Analysis 下拉菜单选择 Map Query。在 Map Query 1 对话框的视窗范围内，准备下列查询表达式：([Reclass of Distance to Strmgd] = 1. AsGrid) AND ([Elevgd] = 2. AsGrid)。你不必键入 AsGrid 请求，因为它会自动加上。点击 Evaluate。
6. 查询结果显示在 Map Query 1 格网中。值为 True (1)的那些单元满足所要求的两个指标。
7. 若不用对 Distance to Strmgd 格网再分类，也能完成习作 3。在此情况下，查询表达式必须改为：([Distance to Strmgd] <= 200. AsGrid) AND ([Elevgd] = 2. AsGrid)。

习作 4　最小累积成本距离示例

所需数据：与图 11. 14 相同的格网 sourcegrid 和 costgrid；用于 CostPath 请求的格网 pathgrid。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst 扩展模块。
2. 打开一个新视图，把 sourcegrid 和 costgrid 加到视图。在 sourcegrid 中指定右上角和左下角的单元为源单元。从 Analysis 下拉菜单选择 Map Calculator。然后用 CostDistance 请求来计算 sourcegrid 中每个单元对于 costgrid 中的源单元的最小累积成本距离。CostDistance 的语法如下：

aGrid. CostDistance(costGrid, directionFN, allocationFN, maxDistance)

以上参数中，directionFN 是方向或返还格网的文件名，allocationFN 是配置格网的文件名，maxDistance 定义最小累积成本的阈值。本习作使用方向格网 dir_gd 和配置格网 alloc_gd，而不用距离阈值。在 Map Calculator 对话框的表达式方框内输入下列语句，并点击 Evaluate。

([sourcegrid] . CostDistance ([costgrid], "dir_gd" . AsFileName, "alloc_gd". AsFileName, Nil))

3. CostDistance 请求的输出格网为 Map Calculation 1。激活 Map Calculation 1。从 Theme 下拉菜单选择 Properties，将 Map Calculation 1 重新命名为 least_gd。用 identify 工具在 least_gd 中查单元值，其值应该与图 11. 14(d)相同。
4. CostDistance 请求还创建了 dir_gd 和 alloc_gd。把 dir_gd 和 alloc_gd 加到视图。alloc_gd 易于理解：该格网中单元被区分成两部分，分配给源单元 1（左下角）或分配给源单元 2（右上角）。dir_gd 需要作一些解释。dir_gd 中的单元值的值域为0～8。每个单元值指明哪个相邻单元要移送或返还给源单元。单元值的注释如下：

6	7	8
5	0	1
4	3	2

下图表明 dir_gd 中的单元值和单元值代表的返还链接：

3	1	1	0
3	5	1	7
3	4	8	7
0	5	5	7

5. 下一步，用 CostPath 请求，以 pathgrid 的值计算对于两个单元的最短成本路径。把 pathgrid 加到视图。从 Analysis 下拉菜单选择 Map Calculator。CostPath 请求的语法如下：

AGrid. CostPath (distanceGrid, directionGrid, byZone)

以上参数中，distanceGrid 和 directionGrid 是由 CostDistance 请求创建的输出格网。若成本路径是以相同值对每个地带或每组单元计算，byZone 参数可为真(True)，若成本路径是以一个数值对每个单元进行计算，则为假(False)。运行 CostPath，在 Map Calculator 对话框的表达式方框里输入下列表达式并点击 Evaluate：

([pathgrid]. CostPath ([least_gd], [dir_gd], False))

CostPath 请求的输出结果包含三种单元值：1 代表源单元；3 是 pathgrid 中数值为 1 的单元的最小成本路径；4 是 pathgrid 中数值为 2 的单元的最小成本路径。激活输出格网并打开其专题属性表。该专题属性表显示每条路径的最小累积成本和每条路径的起始行、列。行、列的编号起自左上角单元(其行号和列号均为 0)。

参考文献

Chrisman, N. 1997. *Exploring Geographic Information Systems*. New York: John Wiley & Sons.

Cliff, A. D., and J. K. Ord. 1973. *Spatial Autocorrelation*. New York: Methuen.

Congalton, R. G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 37: 35—46.

Crow, T. R., G. E. Host, and D. J. Mladenoff. 1999. Ownership and Ecosystem as Sources of Spatial Heterogeneity in a Forested Landscape, Wisconsin, USA. *Landscape Ecology* 14: 449—463.

Forman, R. T. T., and M. Godron. 1986. Landscape Ecology. New York: John Wiley & Sons.

Getis, A., and J. K. Ord. 1996. Local Spatial Statistics: An Overview. In P. Longley and M. Batty (eds.), *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*. Cambridge, UK: GeoInformation International, pp. 261—277.

Hepner, G. H., and M. V. Finco. 1995. Modeling Dense Gas Contaminant Pathways over Complex Terrain Using a Geographic Information System. *Journal of Hazardous Materials* 42: 187—199.

Herr, A. M., and L. P. Queen. 1993. Crane Habitat Evaluation Using GIS and Remote Sensing. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 59: 1531—1538.

Heuvelink, G. B. M. 1998. *Error Propagation in Environmental Modelling with GIS*. London: Taylor and Francis.

Lam, N. S., M. Fan, and K. Liu. 1996. Spatial-Temporal Spread of the AIDS Epidemic, 1982—1990: A Correlogram Analysis of Four Regions of the United States. *Geographical Analysis* 28: 93—107.

Lee, J., and D. W. S. Wong. 2001. *Statistical Analysis with ArcView GIS*. New York: John Wiley & Sons.

Legendre, P. 1993. Spatial Autocorrelation: Trouble or New Paradigm? *Ecology* 74: 1659—1673.

Lillesand, T. M., and R. W. Kiefer. 2000. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons.

McGarigal, K., and B. J. Marks. 1994. *Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Forest Science Department, Oregon State University.

Mladenoff, D. J., T. A. Sickley, R. G. Haight, and A. P. Wydeven. 1995. A Regional Landscape Analysis and Prediction of Favorable Gray Wolf Habitat in the Northern Great Lakes Regions. *Conservation Biology* 9: 279—294.

Newcomer, J. A., and J. Szajgin. 1984. Accumulation of Thematic Map Errors in Digital Overlay Analysis. *The American Cartographer* 11: 58—62.

Tomlin, C. D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall.

Veregin, H. 1995. Developing and Testing of An Error Propagation Model for GIS Overlay Operations. *International Journal of Geographical Information Systems* 9: 595—619.

Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agricultural Handbook* 537. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture.

第12章　地形制图与分析

12.1　引　　言

绵延起伏的地形是 GIS 用户所熟悉的现象。陆地表面作为制图对象已历经数百年。制图者提出了各种地形制图技术，并由高程、坡度、坡向拓展到陆地表面测量。GIS 使得地形制图分析与实际应用的结合更加容易实现，包括从野生生物栖息地分析到水文模拟等领域的应用。

陆地表面是三维表面。大多数 GIS 软件包都将高程数据(常称为 z 值)作为点或单元位置的属性数据，而不作为 x、y 坐标系的附加坐标。在栅格格式中，z 值相应于单元值。在矢量格式中，z 值则以特征属性表字段存储。栅格或矢量数据均可用作地形制图与分析的数据输入。

本章包括四部分内容。第一部分述及两种常用于地形制图和分析的数据源：数字高程模型和不规则三角网；第二部分阐述地形制图的不同方法；第三部分讨论地形分析，包括坡度、坡向、表面曲率、视域分析和流域分析；第四部分对用于地形制图与分析的数字高程模型和不规则三角网作比较。

尽管本章只以 ArcView 和 ARC/INFO 为例作介绍，然而许多 GIS 软件包都具有地形制图与分析功能(见注释栏 12.1)。GIS 软件经销商特意把地形制图与分析功能组成模块或扩展模块。例如，ArcView 有 Spatial Analyst (空间分析)和 3-D Analyst (三维分析)扩展模块；ARC/INFO 有格网和不规则三角网的 Spatial Modeling (空间模拟)模块；MGE 有 Terrain Analyst (地形分析)模块；SPANS 有 Topographer (地形学者)模块；PAMAP 也有 TOPOGRAPHER(地形学者)模块。

注释栏 12.1　地理信息系统软件包中的地形分析功能概览

地形制图与分析是GIS 软件包的重要组件，尤其是基于栅格数据的 GIS 软件包。以下列出本章述及的一些地形分析功能和含有这些功能的 GIS 软件包：

坡度、坡向：ARC/INFO，ArcView，IDRISI，SPANS，GRASS，ILWIS，PAMAP

表面曲率：ARC/INFO，IDRISI，GRASS

视域分析：*ARC/INFO*，ArcView，*GRASS*，*IDRISI*，SPANS，*PAMAP*，MFworks

流域分析：ARC/INFO，ArcView，GRASS，IDRISI，PAMAP，MFworks

12.2　用于地形制图和分析的数据

12.2.1　数字高程模型

数字高程模型表示高程点的排列。数字高程模型的质量会影响诸如坡度、坡向等地形

测量的精度。美国地质调查局将 7.5 分精度的数字地形模型的质量分为三级，一级的质量为最差。利用已有资源如基准点（垂直控制点）和点位高程作为测试点，美国地质调查局计算了数字高程模型的均方差。一级精度的均方差为 7～15m，二级精度的最大均方差为等高距的一半，三级精度的最大均方差为等高距的三分之一但不超过 7m。使用中的美国地质调查局数字高程模型多为一级或二级精度。

美国地质调查局数字高程模型的误差可分为整体误差和相对误差。整体误差是由数字高程模型移位引起的系统误差，其迹象是沿邻接数字高程模型边界的高程不匹配。通常可以通过几何变换来纠正整体误差，包括平移、旋转和比例变换。相对误差是局部误差，但对接壤高地具有意义。相对误差的例子，如陆地上人为造成的山峰和高出的岩块，尤其是沿着山脊线部位。相对误差只能通过编辑数字高程模型数据来订正。

为了进行地形分析，基于的点的数字高程模型必须首先转化成软件所指定的栅格数据，例如，ARC/INFO 和 ArcView 所用的高程格网（grid）。这样，数字高程模型中的高程点就变成高程格网中的单元。如果是美国地质调查局的 3 弧度秒（3 arc-second）数字高程模型，还必须将其投影到现实世界坐标系统中。

12.2.2 不规则三角网

不规则三角网用一系列无重叠的三角形来模拟陆地表面。高度值（z 值）连同 x、y 坐标一起存储在结点，由这些结点构成三角形。与数字高程模型相比，不规则三角网是基于高程点的不规则分布。GIS 用户通常把各种数据源的输入数据编辑成不规则三角网，这些数据源如数字高程模型、实测高程点、等高线和**截断线**（breakline）等。截断线是表示河流、岸线、山脊和道路等地形突变的线要素。

由于地形的复杂性导致不规则三角网中三角形的大小各异，因此并非在数字高程模型中的每个点都需要用于构建不规则三角网，建立不规则三角网的过程在于选择那些更能代表地形的点。在 GIS 中，从数字高程模型中选择重要的点的一些算法已经提了出来（Lee 1991，Kumler 1994）。这里我们来看两种算法：ARC/INFO 采用的 **VIP**（极重要点）法，以及 ARC/INFO 和 ArcView 采用的**最大 *z* 容差法**（maximum z-tolerance）。

为了从数字高程模型中选择点，VIP 法首先把数字高程模型转换成格网，而后每个点（高程格网中的每个单元）的重要性，由邻接点数值估算该点数值的可行程度来评价（Chen 等 1987）。从基于点的数字高程模型到高程格网的转换对于选择过程是必需的，其本质上是一种邻域运算。

图 12.1(a) 表示在高程格网中的一个 3×3 移动窗口。为了评定 P 的重要性，VIP 法首先利用它的四对邻接点（上下 B-F，左右 H-D，右上和左下 C-G，左上和右下 A-E）来估算 P 点的高程。图 12.1(b)表示由 C-G 的垂直剖面，P_e 是由 G 和 C（Z_G 和 Z_C）点的高度算得的 P 点高度的估计值，P_h 是 P 点的实际高度，P_h 和 P_e 之差 d 显然表示 P 点高度的偏差。VIP 法用 s 作为 P 点的偏差，s 是 P_h 与 Z_GZ_C 连线的垂直距离的量度。据 Chen 等（1987）报道，偏差 s 测算在平地或陡坡地区比 d 好。在计算四个偏差值（围绕 P 点的每对相接点有一个偏差值）之后，VIP 法取其平均值作为 P 点的重要性的标志。

运用上述步骤，VIP 法计算出高程格网中每个单元的重要性值。格网重要性值的频率

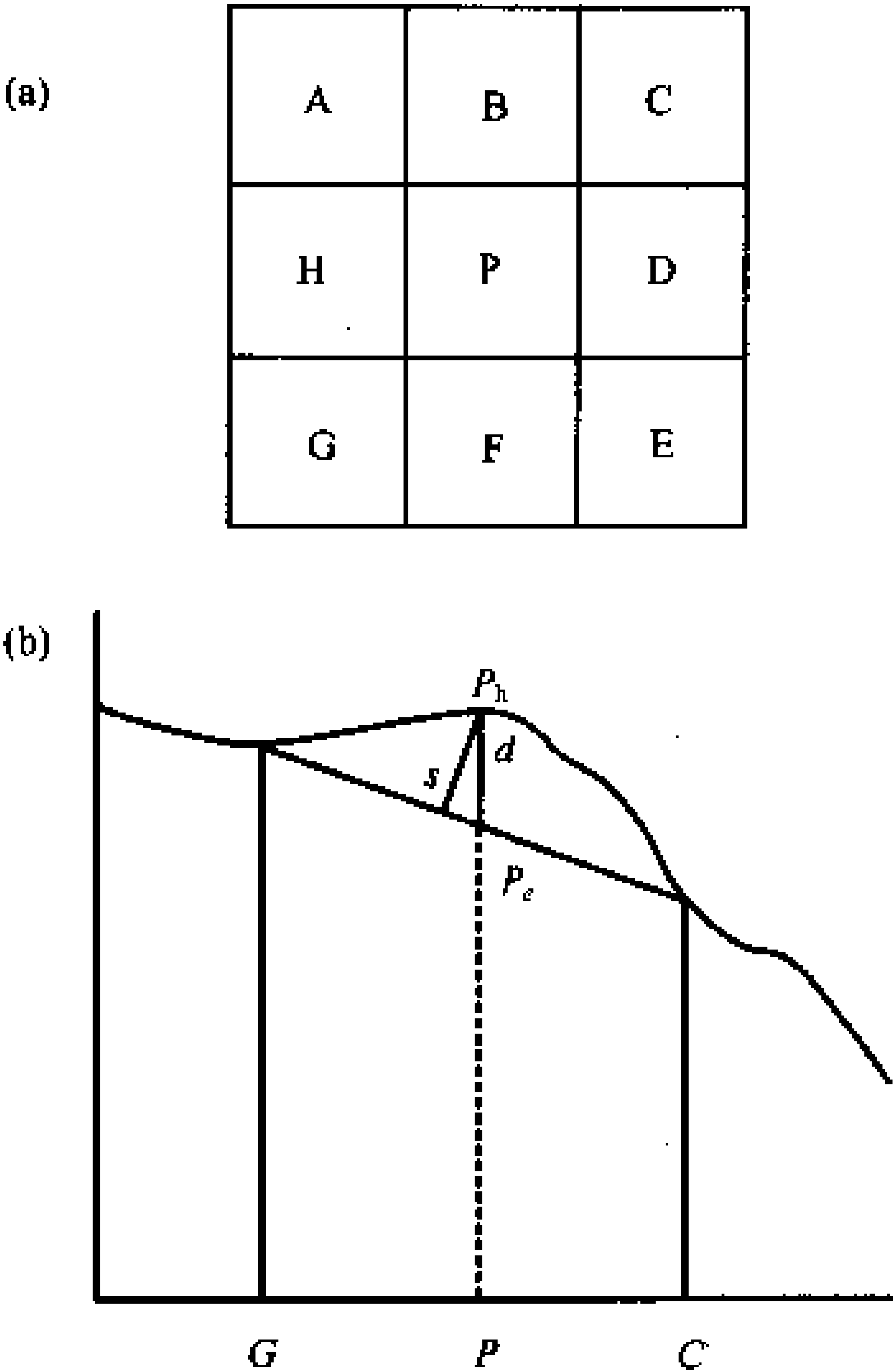


图 12.1 VIP 通过测定该点数值可由邻接点数值估算的情况，来评价一个高程点的重要程度。图 12.1b 表示用 G 和 C 的高程估算 P 点高程的情况。P_e 是估算的高程，P_f 是实际高程，d 代表 P_e 和 P_f 的离差。VIP 采用 s 而不是 d 作为重要度的测度。

分布通常显示为正态分布，具有较低重要性值的单元较多(Chen 等 1987)。用 VIP 法进行点的选择既可以基于所要求的数目，也可以基于指定的重要性水平。

最大 z 容差算法是从高程格网选点来构建不规则三角网，对于高程格网的每个点，其原始高程与由不规则三角网估算的高程之差落在指定的最大 z 容差之内。ARC/INFO 的 LATTICTIN 命令和 ArcView 的 3-D Analyst 即用这一算法把高程格网转换成不规则三角网。

最大 z 容差算法采用一种迭代过程。这个过程由构建一个候选的不规则三角网开始。然后，对这个不规则三角网的每个三角形，计算格网中的每一点与所落入三角形面的高差，并确定出差值最大的点。如果差值大于指定的 z 容差，便标记该点并将其添加到不规则三角网原型中。现存不规则三角网的每个三角形都被检测以后，以选中添加的点重新计算三角网。这个过程持续进行直到格网里的所有点都在指定的最大 z 容差之内。

除了数字高程模型外，不规则三角网的构建还可以利用其他数据来源。增加的高程点可来自摄影测量数据或全球定位系统的读数。等高线可提供高程读数。截断线(breakline)不仅提供了具有高程数值的点，而且提供了三角形边缘的自然结构(图 12.2)。

不规则三角网将各种来源的高程点连结成一系列无重叠的三角形。联结这些点的一个常用算法称为**德劳内(Delaunay)三角测量法**(Tsai 1993)。由德劳内三角测量法所形成的三角形具有下列特征：所有节点(点)与其最临近的点组成三角形；三角形尽可能为等

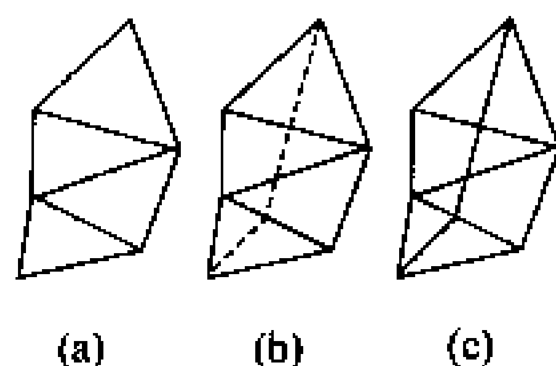


图 12.2　(b)中的虚线代表一条截断线，它把(a)中的三角形分成(c)中的一系列小三角形。

角的或密集的。

与来自德劳内三角测量法的密集三角形不同，不规则三角网边界附近的三角形经常被延伸和拉长，因而对地形的扭曲也就源自这些三角形。解决这一问题的办法是将研究区边界以外的一些高程点包含进来进行处理，而后再从较大范围中把研究区裁剪出来。

12.3　地形制图

12.3.1　等高线法

等高线法是最常见的地形制图方法。**等高线**连接相同高程的点(注释栏 12.2)，**等高距**代表等高线之间的垂直距离。等高线的排列及其模式是地形的反映。例如，陡峻的地形等高线间距紧密，沿着河流等高线向上游方向弯曲。训练有素和颇有经验的地图使用者能根据等高线看出地形。等高线也可用于手工量测坡度和坡向，尽管随着 GIS 的应用现已较少这么做了。

等高线

地图制作者在地形制图中使用等高线这个术语。等高线连接相同高程的点。等高线是一种等值线，它在地图编绘中可用于表示各类数据。例如，等值线还可表示降水或温度的分布。但是，GIS 软件的开发者不在意等高线与等值线的区别。例如，ARC/INFO 和 ArcView 使用等高线这一术语取代等值线。

等高线的自动生成遵循以下两个基本步骤：① 探察等高线与格网单元或三角形的交叉。② 通过格网单元或三角形画出等高线(Jones 等　1986)。不规则三角网是说明自动生成等高线的好例子，因为它已经分成了三角形并且每个结点有高程读数。给定一条等高线，检查每个三角形的边缘是否有等高线经过。如果有的话，沿三角形边缘作线性插值(假定边缘两端结点之间为恒定坡度)可确定等高线的位置。当等高线的所有位置都计算出来之后，这些点便可连结成等高线(图 12.3)。初始的等高线由一段段直线组成，可通过样条(splining)使之平滑，即用组点成线的数学函数来拟合。生成平滑等高线的另一种方法是把一个三角形分成一系列更小的三角形，用这些小的三角形来作等高线。

等高线不可相交或在地图中间终止，尽管在凹地或孤丘情况下可自行闭合。但由 GIS 生成的等高线地图有会时出现不合规律甚至出错(图 12.4)。

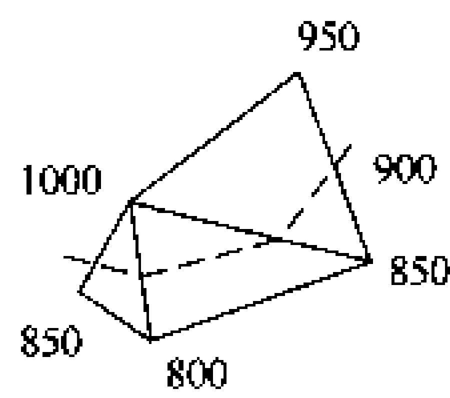


图 12.3　沿三角形边缘内插数值为 900 的点，这些点连成 900 的等高线。

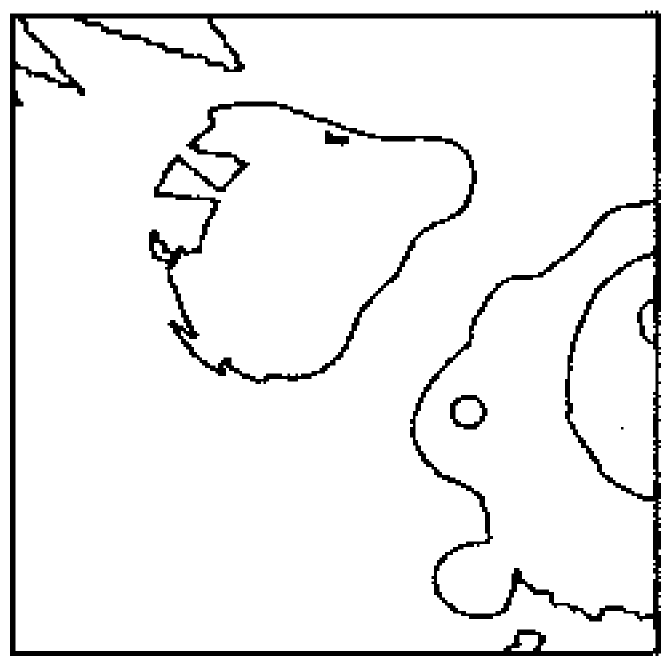


图 12.4　自动生成等高线可能产生很不规则的等高线。

12.3.2　垂直剖面法

垂直剖面表示高度沿一条线（如步行小道、道路或河流）上的变化，（图 12.5）。手工方法一般涉及以下步骤：

（1）在等高线图上画一条线；

（2）标记等高线与剖面线的每个交叉点，并记录其高程；

（3）适当提高每个交叉点的高度比例；

（4）联结各交叉点，绘成垂直剖面图。

垂直剖面的自动绘制遵循同样步骤，只不过等高线图是由高程格网和不规则三角网替代。

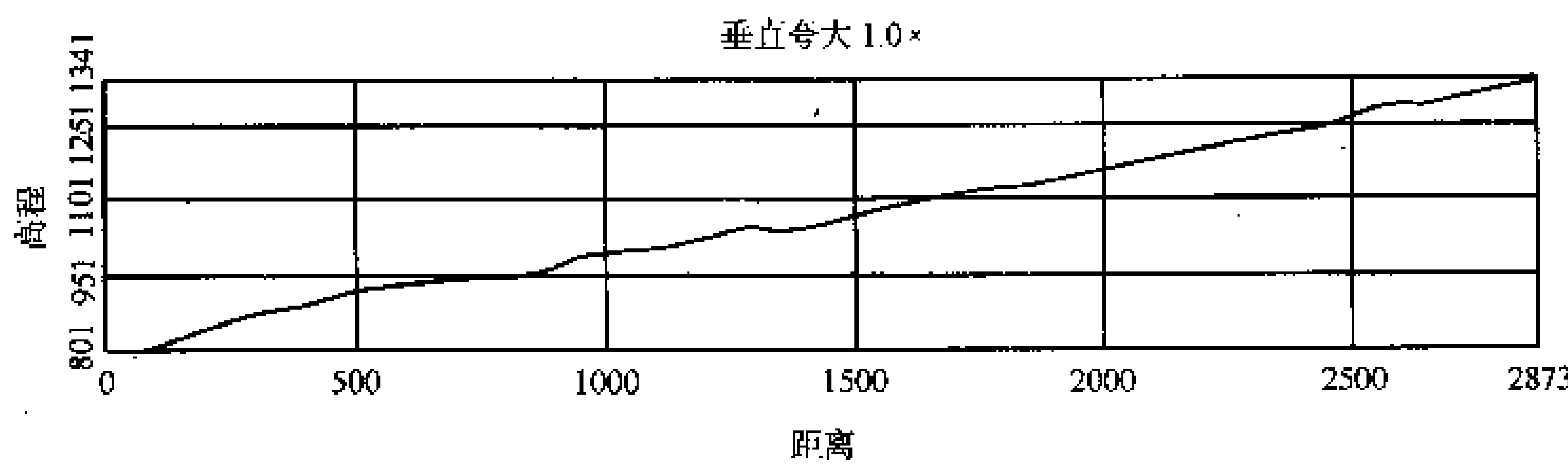


图 12.5　垂直剖面表明沿着河流支流的高程变化。该剖面的垂直夸大因素为 1.0，即无垂直夸大。

12.3.3　地貌晕渲法

地貌晕渲法又称地形晕渲法或阴影法，旨在模拟太阳光与地表要素相互作用下的地形容貌（图 12.6）。向光的山坡很亮而背光的山坡阴暗。地貌晕渲法的表现方式有助于观察者认识地形特征。Thelin 和 Pike（1991）制作的地貌晕渲法美国数字地图是一个极好的例子（网址为：http://www.usgs.gov/reports/misc/Misc._Investigations_Series_Maps_(I_Series)/I_2206/usa_dem.gif）。



图 12.6　一个晕渲的例子，图中的太阳方位角为 315°，太阳高度角为 45°。

地貌晕渲过去往往由艺术家来完成。现在，计算机就能做出高质量的晕渲地图。地貌晕渲的视觉效果受控于四个因子。太阳方位角是光的来向，变化范围为顺时针方向从0°～360°。太阳高度角是太阳光与地平面的夹角，从 0°～90°变化。另两个因子是坡度和坡向，坡度变化范围为 0°～90°，坡向则为 0°～360°。采用以上四个因子，下列方程可为高程格网的每个单元或不规则三角网的每个三角形计算出相对辐射值（Eyton　1991）：

$$R_f = \cos(A_f - A_s)\sin H_f \cos H_s + \cos H_f \sin H_s \qquad (12.1)$$

式中：R_f为格网单元或三角面上的相对辐射值；A_f为坡向；A_s 为太阳方位角；H_f为坡度；H_s为太阳高度角。R_f值域为 0～1。如果乘以常数 255，R_f可以转变为照明值（I_f）来表示。在晕渲地图上，照明值取值 255 为白，照明值取值 0 为黑。ARC/INFO 和 ArcView 都采用照明值作地貌晕渲（见注释栏 12.3）。

相对辐射值与所谓的入射值相似（Franklin　1987）：

$$\cos(H_f) + \cos(A_f - A_s)\sin(H_f)\cot(H_s) \quad (12.2)$$

式 12.2 中的符号注释同式 12.1。入射值也可由相对辐射值乘以 $\sin(H_s)$ 得来。除了用于地貌晕渲外，相对辐射和入射值还用于图像处理中作为表示入射辐射与局部地貌相互作用的变量。

计算相对辐射的实例

设高程格网中的一个单元的坡度值为 10°，坡向值为 297°（朝向为西到西北），太阳高度角为 65°，太阳方位角为 315°（来自西北方向）该单元的相对辐射可由下式计算，

$$R_f = \cos(297-315)\sin(10)\cos(65)+\cos(10)\sin(65) = 0.9623$$

该单元看来明亮，相对辐射值为 0.9623。假设太阳高度角低至 25°，太阳方位角仍为 315°，则该单元的相对辐射值将变为

$$R_f = \cos(297-315)\sin(10)\cos(25)+\cos(10)\sin(25) = 0.5658$$

该单元将呈中灰色，相对辐射值为 0.5658。

12.3.4 分层设色法

分层设色法是用不同颜色表示不同的高度带。色阶使用得好有助于看出高程的渐变，尤其对于小比例尺地图。分层设色也可用于强调特殊的高度带，例如，在野生生物栖息地研究中这种表示法就显得重要。

12.3.5 透视图法

透视图是地形的三维视图：如同从飞机上某个角度所见的地形（图 12.7）。三维视图

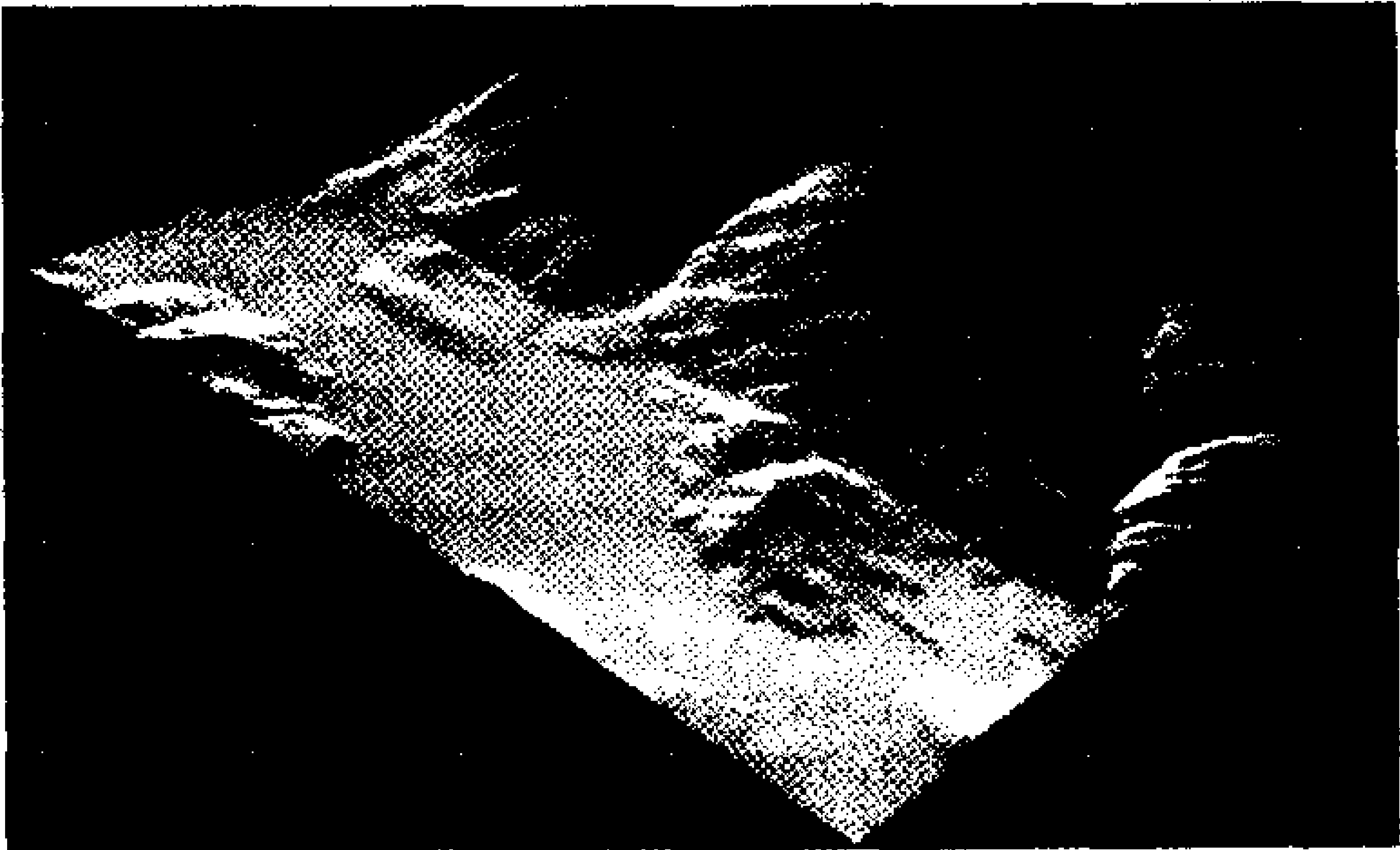


图 12.7 一个三维透视图的例子。

受控于四个参数(图 12.8)：

(1) **观察方位**是观察者对地面的方向,变化范围为顺时针方向从 0°～360°。

(2) **观察角度**是观察者所在高度与地平面的夹角,总是在 0°～90°之间变化。观察角度为 90°,意味着从正上方观察地面,而观察角度为 0°意味着从正前方观察地面。因此,当观察角度为 0°时三维效果达到最大,而观察角度为 90°时三维效果最小。

(3) **观察距离**是观察者与地表的距离。

(4) **竖向(Z 向)比例尺**是垂直比例尺与水平比例尺的比率,又称垂直夸大因子。竖向比例尺用于突出小地形特征方面很有用。

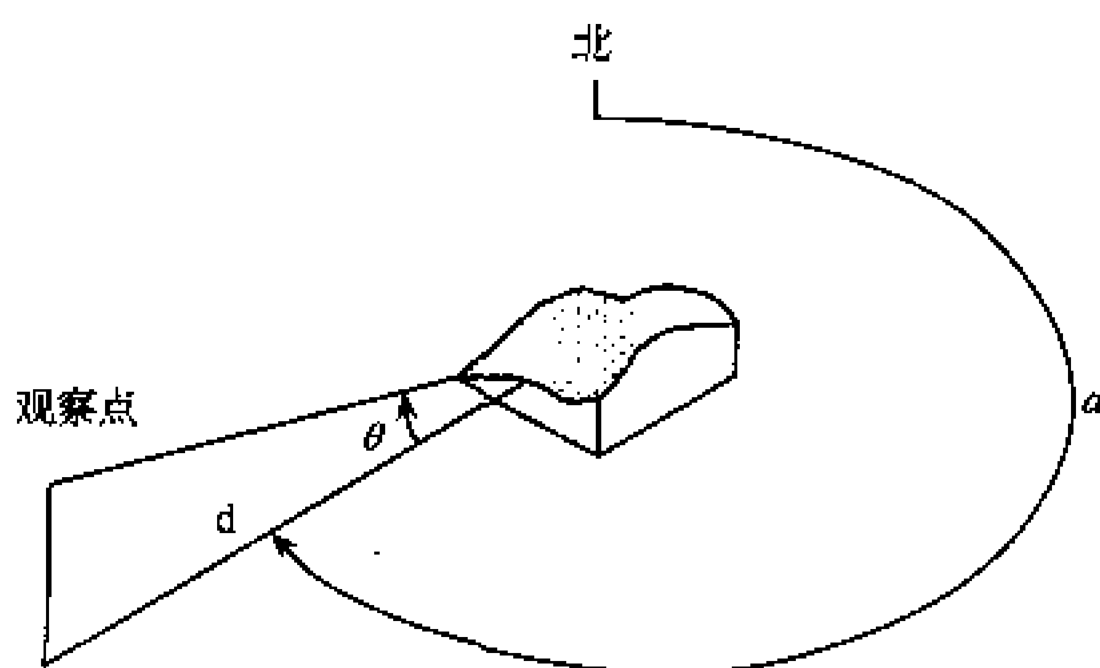


图 12.8　本图显示控制三维视图的三个参数。α 是观察方位角,从北顺时针量测;θ 是观察角,即与水平面的夹角;d 是观察距离,即观察点与三维表面的距离。

ArcView 的 *3-D Analyst* 扩展模块提供了用于观察参数操作的图形界面。因此,GIS 用户能够很容易地进行地面的旋转、漫游和近观察。为了使透视图更有真实感,可在**三维叠置**(3-D draping)过程中添加土地覆被、植被和道路等专题图层(图 12.9)。透视图为描绘陆地表面展现了令人兴奋的方法。

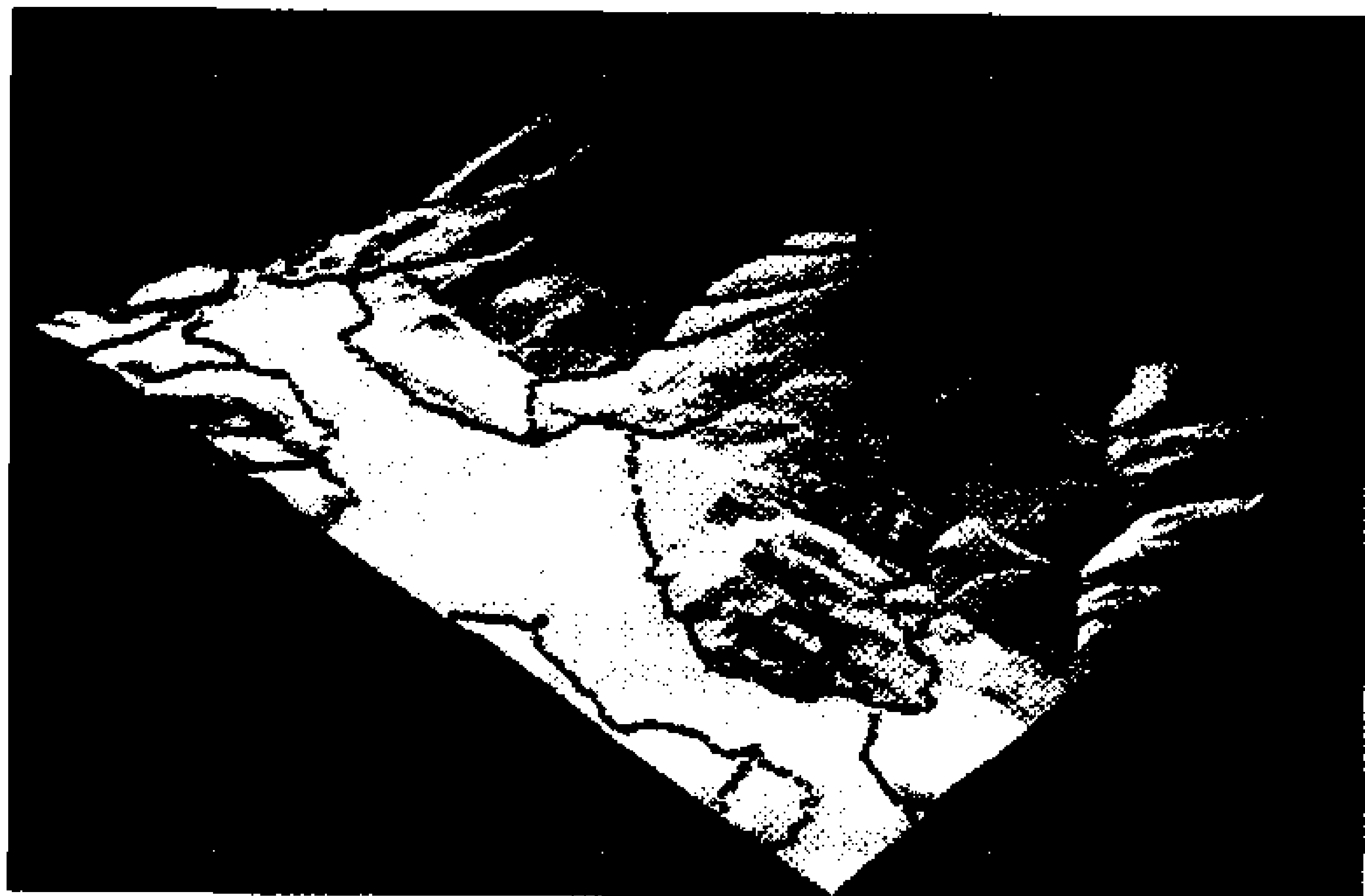


图 12.9　一个三维叠置(draping)的例子,图中的河流和岸线叠置在三维表面上。

12.4 地形分析

12.4.1 坡度和坡向

坡度是地面特定区域高度变化比率的量度，而**坡向**是斜坡方向的量度。设地面某点的高度(z)为该点位置(x 和 y)的函数，则可得到该点的坡度(S)为地面在 x 和 y 方向上的一阶导数，

$$S = ((\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2)^{0.5} \quad (12.3)$$

且可定义该斜坡的方位角为

$$A = \arctan((\partial z/\partial y) / (\partial z/\partial x)) \quad (12.4)$$

坡度的量纲可以是"坡度百分数"或"度"。"坡度百分数"是垂直距离与水平距离之比率的100倍，而"度"是垂直距离与水平距离之比率的反正切(Arc tangent)(图 12.10)。坡向(A)量纲是度，从正北为 0°开始，顺时针移动，回到正北以 360°结束(图 12.11)。

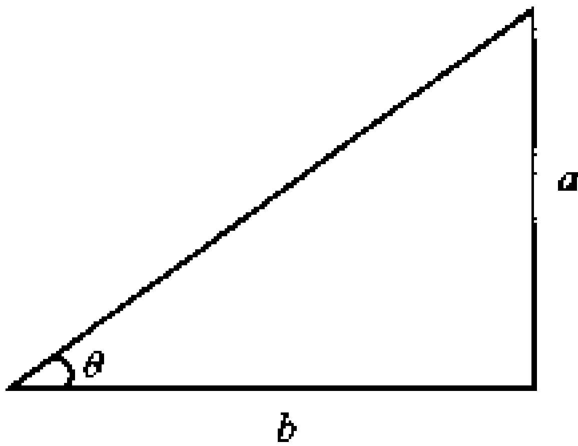


图 12.10　图中的百分制坡度为 100×(a/b)。a 是垂直距离，b 是水平距离。以度为量纲的坡度可由 arctan (a/b)计算得到。

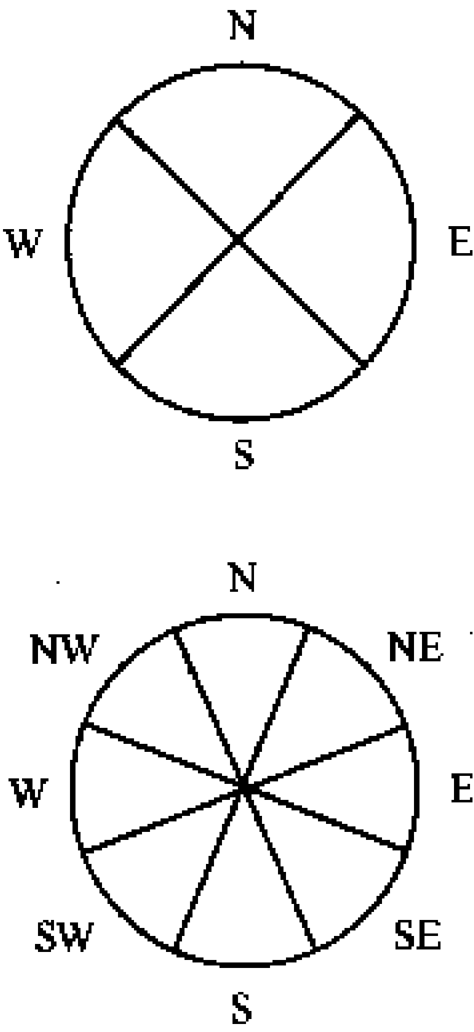


图 12.11　坡向是以度为量纲的方向量度。坡向常被分为 4 个基本方向(上)或 8 个基本方向(下)。

坡向是环形的量度，因此，坡向 10°比 30°更靠近于 360°。GIS 用户经常不得不在用坡向作数字分析之前，对坡向进行转换。常用方法是将坡向分为四个基本方向(北、东、南、西)或者八个基本方向(北、北东、东、南东、南、南西、西、北西)，并把坡向处理成类别数据。另一种方法是转换坡向值以获取基本方向(图 12.12)(Chang 等　2000)。例如，可把北设为 0°，南为 180°，西和东均为 90°，以获取南—北的基本方向。

作为地形特征分析和可视化的基本要数，坡度和坡向在流域单元、景观单元和形态测量的研究中颇显重要(Moore 等　1991)。坡度和坡向与其他变量一起使用，有助于森林

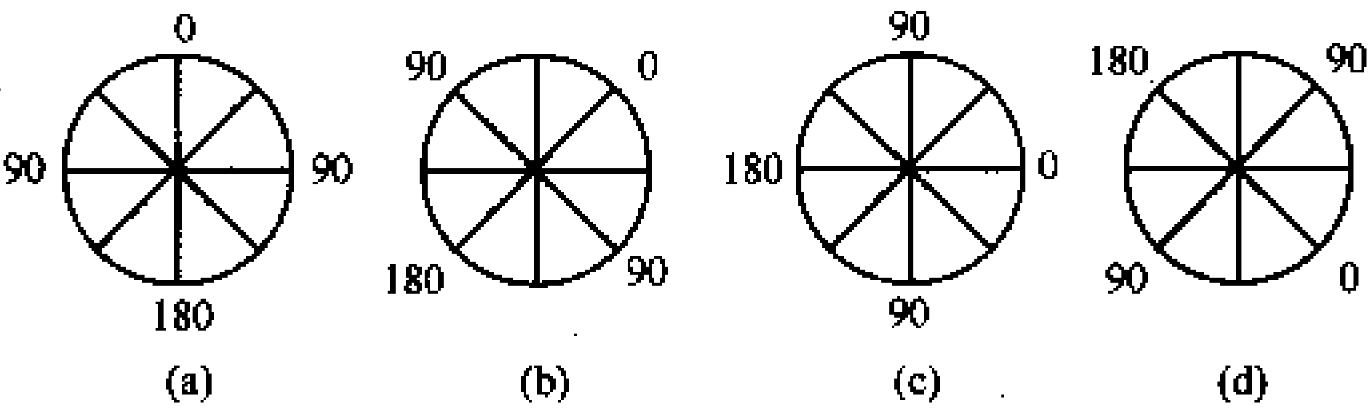


图 12.12　获取基本方向的转换方法：N-S 方向(a)，NE-SW 方向(b)，E-W 方向(c)和 NW-SE 方向(d)。

存量估算、土壤侵蚀、野生生物栖息地、选址分析及其他领域问题的解决。

1．用格网计算坡度、坡向的算法

当以高程格网为数据源时，是对格网的每个单元计算坡度和坡向。可以由单元标准矢量的倾斜方向和倾斜量，对每个单元量测坡度和坡向，标准矢量是垂直于单元的有向直线(图 12.13)。设标准矢量为(n_x, n_y, n_z)，计算单元坡度的公式为

$$(n_x^2 + n_y^2)^{0.5} \quad n_z \tag{12.5}$$

计算单元坡向的公式为

$$\arctan\ (n_y\ /\ n_x) \tag{12.6}$$

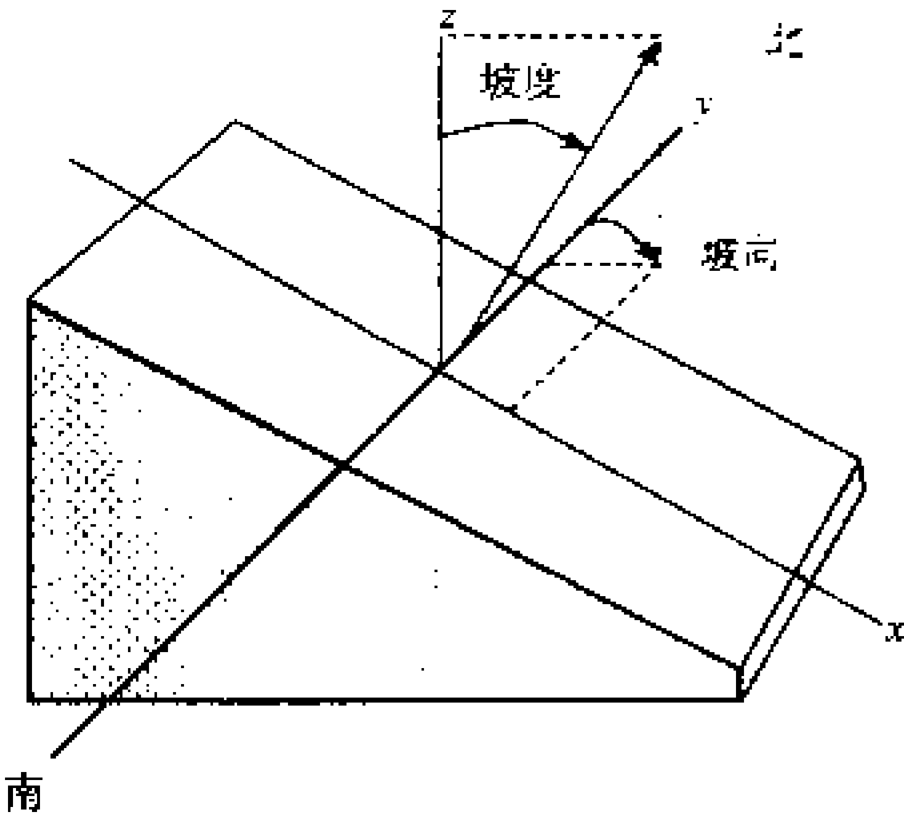


图 12.13　单元的标准矢量是垂直于该单元的有向直线。标准矢量的倾向和倾斜量决定单元的坡度和坡向。(据 Hodgson，1998 重画，CaGIS vol. 25，no. 3，pp. 173～185；经美国测绘大会(he American Congress on Surveying and Mapping)许可重印。)

计算坡度和坡向的各种近似方法已被提出。在此我们将述及三种常用方法。这三种方法都采用 3×3 移动窗口估算中心点单元的坡度和坡向，其不同点在于用于估算的邻接单元数和每个单元的权重。

第一种方法由 Fleming 和 Hoffer (1979) 以及 Ritter (1987)提出，采用直接与中心点单元邻接的四个单元。图 12.14 中 C_0 的坡度(S)可由下式计算，

$$S = ((e_1 - e_3)^2 + (e_4 - e_2)^2)^{0.5} / 2d \tag{12.7}$$

这里 e_i为邻接单元值，d 为单元大小。C_0标准矢量的 n_x分量为 ($e_1 - e_3$)，即 x 维的高差。n_y分量为($e_4 - e_2$)，即 y 维的高差。将 S 乘以 100 可算得 C_0点的坡度百分数。

S 的方位角 D 可由下式计算，

$$D = \arctan((e_4 - e_2) / (e_1 - e_3)) \tag{12.8}$$

D 是相对于 x 轴的弧度。把 D 转化成坡度，即变为以北为 0°的度数制，可应用下列算法(Ritter 1987，Hodgson 1998)：

```
If(若) S <> 0 Then(则)
  T = D×57.296
  If(若) nx= 0
    If(若) ny< 0 Then(则)
        Aspect(坡向)=180
  Else (否则)
    Aspect(坡向)=360
  Else (否则),If(若)nx> 0 Then(则)
  Aspect(坡向)=90-T
  Else (否则), 'nx< 0
        Aspect(坡向)=270-T
Else (否则) 'S =0
  Aspect(坡向)=-1 'undefined aspect for flat surface (平地不定坡向)
End If (结束 )
```

	e_2	
e_1	C_0	e_3
	e_4	

图 12.14 Ritter 算法采用 4 个与 C_0 直接邻接单元计算 C_0 的坡度和坡向。

计算坡度坡向的第二种方法称为 Horn 算法(1981)，该算法用于 ARC/INFO 和 ArcView。Horn 算法使用八个邻接单元，并且对四个直接邻接单元的权重值取 2，而四个角落单元的权重值取 1。Horn 算法用下式计算图 12.15 中 C_0 的坡度：

$$S = (((e_1 + 2e_4 + e_6) - (e_3 + 2e_5 + e_8))^2 + ((e_6 + 2e_7 + e_8) - (e_1 + 2e_2 + e_3))^2)^{0.5} / 8d \tag{12.9}$$

C_0 的 D 值按下式计算：

$$D = \arctan(((e_6 + 2e_7 + e_8) - (e_1 + 2e_2 + e_3)) / ((e_1 + 2e_4 + e_6) - (e_3 + 2e_5 + e_8))) \tag{12.10}$$

把 D 值转化成坡度，除了 $n_x = (e_1 + 2e_4 + e_6)$ 和 $n_y = (e_3 + 2e_5 + e_8)$ (注释栏 12.4) 以外，可用与第一种方法相同的算法。

e_1	e_2	e_3
e_4	C_0	e_5
e_6	e_7	e_8

图 12.15 Horn 算法采用 8 个与 C_0 邻接单元计算 C_0 的坡度和坡向。该算法把权重值 2 用于 e_2、e_4、e_5 和 e_7，把权重值 1 用于 e_1、e_6、e_3 和 e_8。

利用格网计算坡度和坡向的实例

下表表示高程格网的一个3×3窗口。高程以米为量纲，单元大小为30m。

1006	1012	1017
1010	1015	1019
1012	1017	1020

本例首先用Horn算法计算中央单元的坡度和坡向：

$n_x = (1006 + 2x1010 + 1012) - (1017 + 2x1019 + 1020) = -37$

$n_y = (1012 + 2x1017 + 1020) - (1006 + 2x1012 + 1017) = 19$

$S = ((-37)^2 + (19)^2)0.5 / 8\times30 = 0.1733$

$S_p = 100\times0.1733 = 17.33$

$D = \arctan(n_y/n_x) = \arctan(19/-37) = -0.4744$

$T = -0.4744\times57.296 = -27.181$

因为 S <> 0 且 $n_x < 0$

坡向 $= 270 - (-27.181) = 297.181$

比较一下，采用Fleming和Hoffer算法，S_p的值为17.16，而采用Sharpnack和Akin算法，S_p的值为17.39；采用Fleming和Hoffer算法，坡向值为299.06，而采用Sharpnack和Akin算法，坡向值为296.56。

第三种方法称为Sharpnack等(1969)算法，也是采用八个邻接单元，但每个单元的权重相同。计算S的公式为

$$S = (((e_1+e_4+e_6)-(e_3+e_5+e_8))^2 + ((e_6+e_7+e_8)-(e_1+e_2+e_3))^2)^{0.5} / 6d \tag{12.11}$$

D值的计算公式为

$$D = \arctan(((e_6+e_7+e_8)-(e_1+e_2+e_3)) / ((e_1+e_4+e_6)-(e_3+e_5+e_8))) \tag{12.12}$$

2. 用不规则三角网计算坡度、坡向的算法

对不规则三角网中每个三角形计算坡度、坡向的算法也是采用双向标准矢量，即该矢量垂直于三角面。设三角形由以下三个结点组成：A (x_1, y_1, z_1)、B (x_2, y_2, z_2)和C (x_3, y_3, z_3)（图12.16）。标准矢量是矢量AB，$((x_2-x_1), (y_2-y_1), (z_2-z_1))$和矢量AC，$((x_3-x_1), (y_3-y_1), (z_3-z_1))$的向量积。该标准向量的三个分量是

$$\begin{aligned} n_x&: (y_2-y_1)(z_3-z_1)-(y_3-y_1)(z_2-z_1) \\ n_y&: (z_2-z_1)(x_3-x_1)-(z_3-z_1)(x_2-x_1) \\ n_z&: (x_2-x_1)(y_3-y_1)-(x_3-x_1)(y_2-y_1) \end{aligned} \tag{12.13}$$

三角形的S和D值可由方程12.5和方程12.6得来，然后D值可换算成以度表示的坡向，以正北为0°（注释栏12.5）。

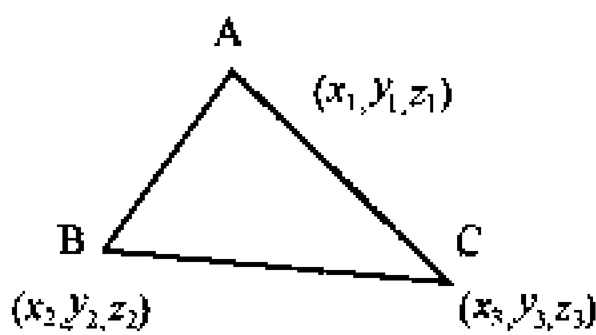


图 12.16 采用三角形三个节点上的 x，y 和 z 值计算 TIN 中一个三角形的坡度和坡向的算法。

[illegible]	**利用不规则三角网计算坡度和坡向的实例**

TIN（不规则三角网）中的一个三角形由下列结点构成，其中 x、y 和 z 的量纲均为 m。

结点 1：x_1= 532 260，y_1= 5 216 909，z_1= 952

结点 2：x_2= 531 754，y_2= 5 216 390，z_2= 869

结点 3：x_3= 532 260，y_3= 5 216 309，z_3= 938

n_x= (5 216 390－5 216 909) (938－952)－(5 216 309－5 216 909) (869－952)＝－42 534

n_y= (869－952) (532 260－532 260)－(938－952) (531 754－532 260)＝－7084

n_z= (531 754－532 260) (5 216 309－5 216 909)－(532 260－532 260) (5 216 390－5 216 909)＝303 600

S_p=100×(((－42 534)^2＋ (－7 084)^2)$^{0.5}$/ 303 600) ＝14.20

D = arctan (－7084 /－42 534)＝ 0.165

T = 0.165×57.296＝9.454

因为 S<>0 且 n_x<0，坡向＝270－T＝260.546

3. 影响坡度和坡向测算的因素

算法会影响坡度和坡向的测算。用澳大利亚和缓地形的数字化等高线地图，Skidmore (1989)对六种算法作过比较，其中包括上一节所介绍的三种。据报道，Horn 算法、Sharpnack 和 Akin 算法在估算坡度和坡向上均属最佳。Hodgson (1998)在田纳西州的一个研究区用一个综合表面比较了五种算法，发现 Ritter 算法在估算坡度上总是比用八个邻接单元的方法更为精确。Jones (1998)在苏格兰用一个综合表面和数字高程模型比较了八种算法，报告认为 Ritter 算法在估算坡度和坡向上是最好的，其次是 Horn 算法以及 Sharpnack 和 Akin 算法。

坡度和坡向测算精度受数字高程模型质量和分辨率的影响，其影响比算法的影响要大得多。据 Isaacson 等 (1990)报道，由 7.5 分数字高程模型创建的坡度和坡向图，比 1 度数字高程模型的具有更大量的细节。7.5 分数字高程模型的采样间距是 30m，而 1 度数字高程模型的采样间距大约是 90m。Chang 等 (1991)发现，随着数字高程模型的分辨率由 20～80m 减小，坡度和坡向的测算精度随之减小。据 Gao (1998)报道，随着数字高程模型的采样间距由 20m 增加到 60m，坡度和坡向测算的可靠性相应减小；统计还表明，坡度测算的可靠性与数字高程模型采样间距之间呈显著逆相关关系。

在评价数字高程模型质量的研究中，Bolstad 等(1994)在同一研究区比较了美国地质调查局 7.5 分数字高程模型和由 SPOT 全色立体像对制作的数字高程模型。据报道，统计表明 SPOT 数字高程模型的坡度、坡向误差显著，而美国地质调查局数字高程模型的坡度和坡向误差为 0 或不显著。

局部地形也会影响坡度和坡向的测算。据 Chang 等 (1991) 报道，在陡坡地区坡度的估算误差较大，而在地形起伏小的地区坡向的估算误差较大。Carter (1992)把坡向的计算误差归结于数据精度问题，即把高程几乎取整数，尤其在地形起伏小的地区。Bolstad 等 (1994)发现陡坡有较大的坡度误差，并推测这一相关性可能是由于森林覆被下地形的立

体相关较难而至。Florinsky (1998)报道过平坦地区坡向和坡度误差较大是由于数据精度问题。

12.4.2 表面曲率

GIS 在水文学研究的应用中,经常需要表面曲率的计算,以确定在一个单元位置的表面是向上的凸面或凹面。ARC/INFO 中的 CURVATURE(曲率)命令使用的一种常用方法是,以二阶多项式方程来拟合一个 3×3 的窗口 (Zevenbergen 等 1987, Moore 等 1991):

$$z = Ax^2y^2+Bx^2y+Cxy^2+Dx^2+Ey^2+Fxy+Gx+Hy+I \quad (12.14)$$

式中:系数 A~I 可由在 3×3 窗口中高程值和格网单元大小估算(注释栏 12.6)。而后,据这些参数可计算出三个曲率的量度:

$$\text{剖面曲率} = -2\left((DG^2 + EH^2 + FGH) / (G^2 + H^2)\right) \quad (12.15)$$

$$\text{平面曲率} = 2\left((DH^2 + EG^2 - FGH) / (G^2 + H^2)\right) \quad (12.16)$$

$$\text{表面曲率} = -2\,(D + E) \quad (12.17)$$

剖面曲率是沿着最大坡度方向的估算值。平面曲率是与最大坡度方向呈直角方向的估算值。而曲率是以上两者的差值,即(剖面曲率－平面曲率)。单元曲率为正值意味着该单元表面向上凸出,为负值意味着表面下凹,为 0 意味着表面为平面。

注释栏 12.6 计算表面曲率的实例

1017	1010	1017
1012	1006	1019
1015	1012	1020

上表表示高程格网中的一个 3×3 窗口,单元大小为 30m。本例说明如何计算中央单元的剖面曲率、平面曲率和表面曲率。第一步要估算符合 3×3 窗口的二次多项式方程的系数 D-H。

$$D = ((e_4 + e_5) / 2 - e_0) / L^2$$

$$E = ((e_2 + e_7) / 2 - e_0) / L^2$$

$$F = (2e_1 + e_3 + e_6 - e_8) / 4L^2$$

$$G = (2e_4 + e_5) / 2L$$

$$H = (e_2 - e_7) / 2L$$

这里,根据下表,e_0 到 e_8 是 3×3 窗口中的高程值,L 是单元大小。

e_1	e_2	e_3
e_4	e_0	e_5
e_6	e_7	e_8

剖面曲率 $= -2\left((DG^2 + EH^2 + FGH) / (G^2 + H^2)\right) = -0.0211$

平面曲率 $= 2\left((DH^2 + EG^2 - FGH) / (G^2 + H^2)\right) = 0.0111$

表面曲率 $= -2\,(D+E) = -0.0322$

以上三个曲率都是基于 1/100 (z 一单位)。曲率为负值意味着中央单元向上是凹面。以上高程格网显示中央单元像一个浅的盆地,其周围为较高海拔的单元。

12.4.3 视域分析

视域指的是从一个观察点或多个观察点可视的地面范围(图 12.17)。视域分析的基础是视线运算,及确定从观察点是否可看见给定目标的运算。视域分析扩大了这种运算,把研究区每个可能的点(或使用栅格格式时的单元)作为目标。对于一个以上的观察点,须对每个点重复运算。视域分析的输出结果为二值地图:可视区和不可视区。



图 12.17(a) 视域分析把研究区分为从两个观察点均不可视区、从观察点 1 的可视区和从观察点 2 的可视区。

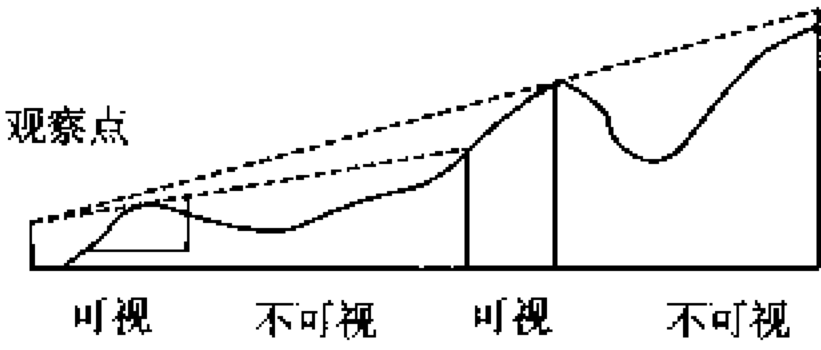


图 12.17(b) 基于视线作用的视域分析。

观察点的选择对视域分析至关重要。为了获得尽可能多的可视度,观察点必须位于较高处。利用高程数值、图形或光标作数据查询有助于 GIS 用户确定观察点的理想位置。对于有些视域分析,观察站的实物结构可能增加点位的高度,使之高于四周。例如,森林瞭望站一般有 15～20m 高。在 ArcView 中,观察站的高度被加到野外点位(以字段 Spot)的高程上。

视域分析的应用包括森林瞭望站的选点、居住地和游览地开发区的选址、公路或河流

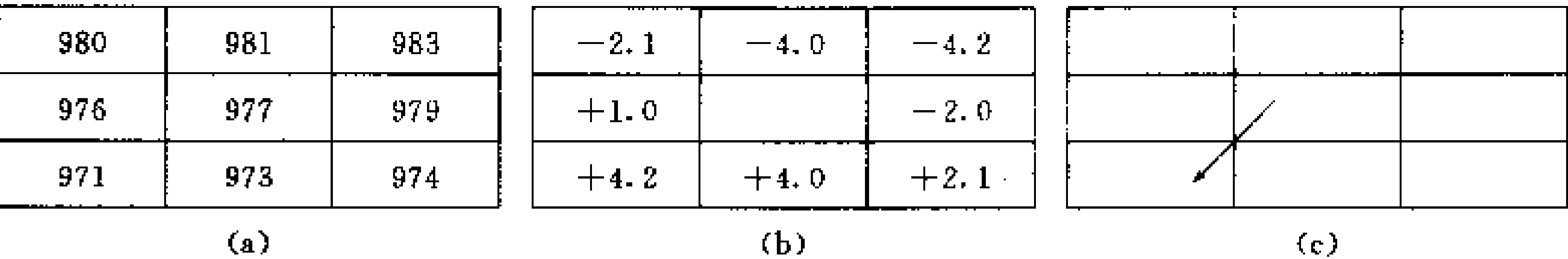
沿线景点的评价等。视域分析还有助于无线通讯天线的定位。视域分析可做精细计算，取决于格网或不规则三角网的大小和观察点的数目，尤其当观察点沿公路等线状地物连续分布的情况。

12.4.4　流域分析

流域是将水和其他物质排向共同出口的区域。流域又称盆地或集水地。高程格网和栅格数据运算用于**流域分析**，以获取流域和河网等在水文过程中非常重要的地形要素(Moore　1996)。

流域分析往往需要三套栅格数据：已填补高程格网(filled elevation grid)、流向格网(flow direction grid)和水流累积格网(flow accumulation grid)。**已填补高程格网**是指不存有凹地。凹地是指一个或多个单元被周围较高海拔所围绕，因而代表一个内排水区域。尽管有些凹地的存在是正常的，如采石场或冰河壶穴，但出现在数字高程模型中有许多不妥之处。因此必须从高程格网中除去这些凹地。除去凹地的方法之一是把其单元值加高至其周围的最低单元值(Jenson 等　1988)。

流向格网表示充填高程格网上每个单元的排水方向。最常用于确定流向的方法是找出八个周边单元中的一个最陡的梯度(图 12.18)，该方法为 ARC/INFO 和 ArcView 所采用。这种方法的一个局限是不允许水流分散到多个单元(Moore　1996)。



(a)

980	981	983
976	977	979
971	973	974

(b)

−2.1	−4.0	−4.2
+1.0		−2.0
+4.2	+4.0	+2.1

(c)

图 12.18　中央单元的流向：(a)首先考虑与 8 个邻接单元中每一个单元以距离为权重的梯度。对于直接邻接的四个单元，梯度的计算是将中央单元与相邻单元的高差除以 1。对于四个角落的单元，梯度的计算是将高差除以 1.414。(b)结果显示最陡的梯度(流向)是从中央单元指向左下角的单元(+4.2)。

水流累积格网是对每个单元列出流向它的单元数(O'allaghan 等　1984)。具有高累积值的单元一般对应于河道，而具有 0 累积值的单元通常是山脊线(图 12.19(a))。因此，用某个临界累积值可以由水流累积格网导出一个完全连接的排水网络(Jenson 等　1988)。

对于选定点或整个格网可以把流域描绘出来(图 12.19(b))。特殊的流域可以为一个点(如水文站)而导出，由该点上溯水流路径。以用户定义的每个流域的最小规模和排水线交叉点为起始点，可对整个格网描绘出流域(Jenson 等　1988)。

ArcView 的 Hydrologic Modeling(水文模拟)扩展模块，为 GIS 用户提供了从高程格网生成已填补高程格网、流向格网和水流累积格网以及用该数据集描绘流域的菜单界面。

12.5　格网和不规则三角网的比较

ARC/INFO 和 ArcView 允许 GIS 用户利用格网或不规则三角网进行陆地表面制图

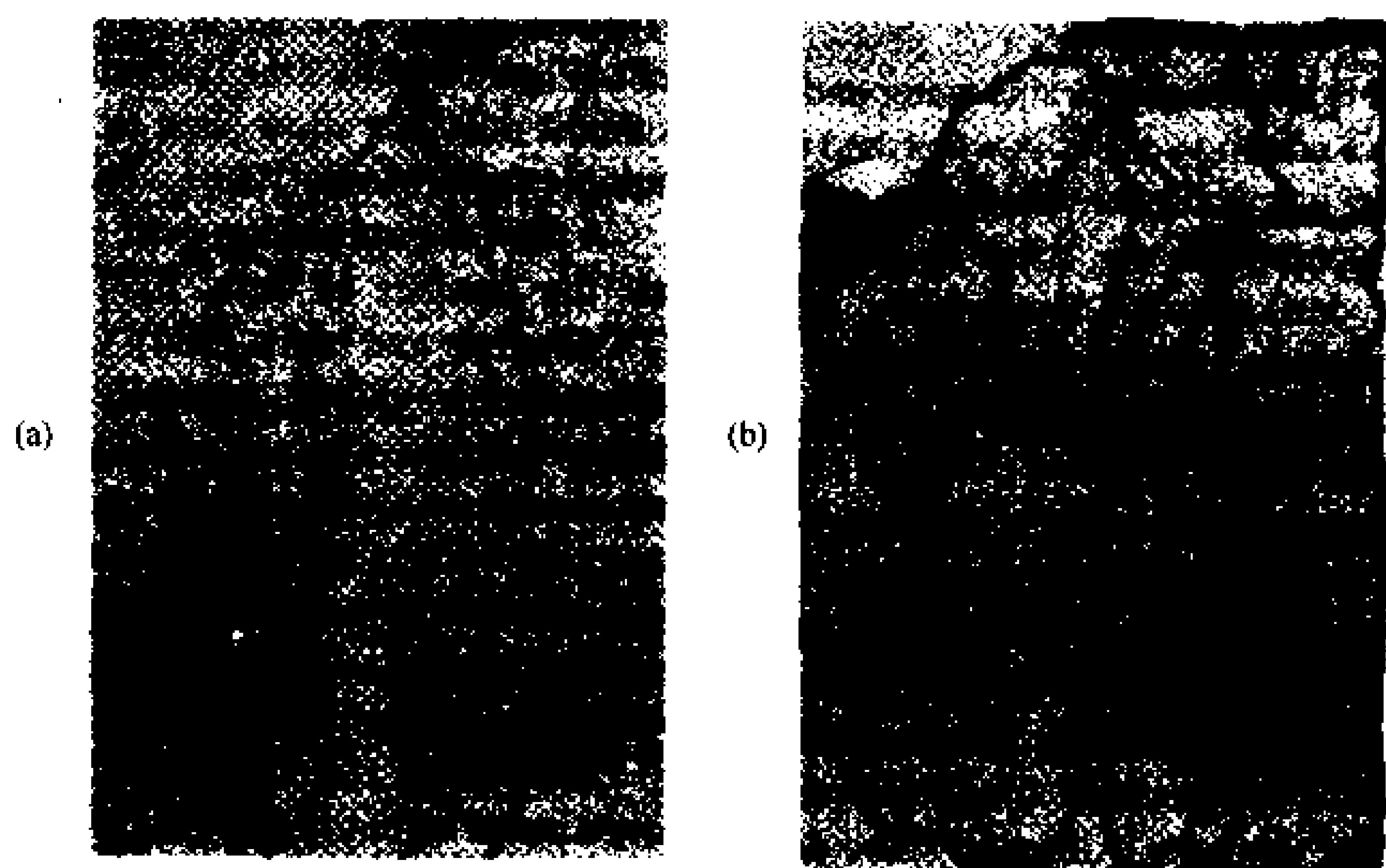


图 12.19 (a)为相连的排水网络，即水流累积格网。符号的暗度对应于水流累积值。(b)为流域的划分。(b)中部的山脊线将流域分为向南和向北。格网边缘一些地区的流域界限未能确定。

和分析，尽管这两个 GIS 软件在算法的选择和输出类型上都不同(注释栏 12.7)。ARC/INFO 和 ArcView 都提供了由格网到不规则三角网，或由不规则三角网到格网转换的算法。考虑到这些方法，GIS 用户在选用哪种数据模型时可能会有问题。而这个问题不容易回答。格网和不规则三角网的不同点在于两个方面：数据灵活性和计算效率。

ARC/INFO 和 ArcView 中的不规则三角网

ARC/INFO 和 ArcView 在 TIN 的构建和处理上有所不同。在 ARC/INFO 中，VIP 和最大 z-容差两者被用于从高程格网选择要包含在 TIN 的点。VIP 与 CREATETIN 命令组成一体，而最大 z-容差与 LATTICETIN 命令组成一体。ArcView 的 3-D Analyst 模块仅提供最大 z-容差算法。

或许对于 GIS 用户而言，TIN 的处理更重要。ARC/INFO 用户可将 TIN 转化为多边形图层，而后再从多边形图层生成坡度和坡向图层。ArcView 用户不能将 TIN 转化为多边形图层，因为 ArcView 应用非拓扑的 shapefile。尽管 ArcView 可让用户从 TIN 生成坡度或坡向，但其输出是格网而不是多边形图层。从 TIN 到格网的转换意味着数据精度的损失。因此，从 ArcView 的 TIN 生成的坡度和坡向格网的质量是有疑问的。ArcView 中 TIN 主要用作三维显示。

使用不规则三角网的主要好处在于输入的数据来源的灵活性。可用输入的数字高程模型、截断线、等高线、全球定位系统数据和测量数据来构建不规则三角网。用户可以把高程点添加到精确的位置，或者添加线状地物如河流、道路、山脊线和岸线以表示地表的不连续性。因为是由 GIS 用户把不规则三角网组合在一起，因此不规则三角网的质量反映了用户投入的时间和精力。

高程格网与给定单元大小相匹配。新的样点可被添加到高程格网以增加其表面精度。假定所用方法相同，改进格网质量的惟一办法是提高分辨率，例如从 30m 提高到 10m。研

究人员尤其是从事小流域工作的，实际上提倡10m分辨率(Zhang等　1994)。然而，提高数字高程模型的分辨率是昂贵的事，因为要求重新编辑高程数据和需要更大的计算机内存。

除数据灵活性外，不规则三角网还是用于地形分析和三维显示的极好的数据模型。不规则三角网的三角面比高程格网能更好表达陆地表面，并且创建了清晰图像。大多数GIS用户似乎更喜欢基于不规则三角网的地图，而非高程格网地图(Kumler　1994)。

计算效率是采用格网作地形分析的主要优势。简单的数据结构使得在高程格网上相对容易完成局部、邻域、区域和全局操作。因此，利用高程格网进行坡度、坡向、表面曲率、相对辐射和其他地貌变量的计算时，比较快速和高效。相比之下，采用不规则三角网，由于三角形数目的增加，计算量明显增加。对于ARC/INFO和ArcView中的一些操作，实际上在进入数据分析之前，不规则三角网都先被转换成高程格网。

最后，哪种数据模型在测算高程、坡度、坡向和其他地表参数上更为精确呢？Kumler(1994)对以下数据类型做了一系列比较：两种数字高程模型、源于极重要点(VIP)算法的不规则三角网、源于最大z容差算法的不规则三角网和源于等高线的另外三种不规则三角网。其结论是：由数字高程模型取样的点构成的不规则三角网比完整的数字高程模型差，基于等高线的不规则三角网在地形模拟中效率不如数字高程模型。但Kumler的比较仅限于高程估算，未涉及坡度、坡向或其他地貌参数。

由数字高程模型采的样点组成的不规则三角网，在估算高程中显然不如完整的数字高程模型好。基于等高线的不规则三角网也是如此，因为它们含有的高程点数目比基于等高线的数字高程模型少。利用不规则三角网作地表分析的主要优点在于数据的灵活性，它允许GIS用户在地形变化急剧的地方添加点状和线状地物。例如，如果河流的宽度小于数字高程模型分辨率的话，数字高程模型便无法识别丘陵地区的河流及其伴随的地貌特征。不规则三角网则可把这类河流用截断线描述，因而不存在上述问题。

重要概念和术语

垂直剖面：一种表示沿着一条线(如步行小道、道路或河流等)上的高度变化的图。

等高距：等高线间的垂直距离。

等高线：相同高程点的连线。

德劳内三角测量法：一种把点连成三角形的计算法则，它遵循所有点都与最近邻接点连接，且三角形尽量密集排列。

分层设色：用颜色符号表示不同高度带的一种制图方法，又称为高程分层设色法。

观察角：构建透视图的参数之一，表示观察者所在高度与地平线的夹角。

观察方位角：构建透视图的参数之一，表示观察者对地面的方向。

观察距离：构建透视图的参数之一，表示观察者与地面的距离。

极重要点：一种高程点选择的算法，通过测定该点数值由邻接点数值估算的情况，来评价一个高程点重要程度。

截断线：描绘陆地表面的河流、岸线、山脊和道路等变化的特征线。

竖向比例尺(Z-比例尺)：构建透视图的参数之一，为垂直比例尺与水平比例尺的比率，又称为垂直夸大因子。

流域分析:涉及生成流向、流域边界和河网的分析。

流域:水流和其他物质具有共同出口的区域。

流向格网:显示已填补高程格网上每个单元水流流出方向的格网。

坡度:地表高度的变化率,以度或百分比为量纲。

坡向:坡地朝向的度量。

三维叠置:在透视图上添加诸如植被和道路等专题图层的方法。

水流累积格网:显示流向每个单元的单元数的格网。

视域:从一个或多个观察点可视的范围。

透视图法:制作陆地表面三维视图的一种绘图法。

已填补高程格网:没有凹地的高程格网。

晕渲:一种地图绘制方法,模拟陆地表面在阳光与地形特征相互作用下的视觉效果,又称为阴影法。

最大 z 容差法:一种构建 TIN(不规则三角网)的算法。对于每个选上的高程点,该算法确保原始高程与由 TIN 估算高程之差小于指定的最大 z 容差。

应用:地形制图与分析

本章应用部分包括四个习作:习作 1 是在 ArcView 中用数字高程模型进行地形制图与分析。习作 2 完成一个视域分析。习作 3 和习作 4 涉及不规则三角网,习作 3 是在 ArcView 中建立和显示不规则三角网,习作 4 是在 ARC/INFO 中建立不规则三角网,并由不规则三角网生成坡度和坡向图。

习作 1　利用数字高程模型进行地形制图与分析

所需数据:高程格网 plne:河流的 shapefile 文件 stream. shp。

高程格网是从美国地质调查局(USGS)的 7.5 分数字高程模型导入的。河流的 shapefile 显示该地区的主要河流。习作 1 涉及应用 ArcView 的 Spatial Analyst(空间分析)和 3-D Analyst (三维分析)扩展模块进行地形制图和分析。

1.1　创建等高线专题图

1. 启动 ArcView 并加载 3-D Analyst 和 Spatial Analyst 扩展模块。
2. 打开一个新视图,加入格网源数据 plne 和河流 shapefile 文件 streams. shp。点击复选框中的 plne 以显示高程格网,激活 plne。
3. 从 Surface 下拉菜单中选择 Create Contours (创建等高线)。输入等高距为 100,基础等高线为 800。点击 OK。
4. 点击 Contours of Plne, 画出新创建的等高线专题图。

1.2　创建垂直剖面

1. 激活 streams. shp, 在主菜单中点击 Open Theme Table(打开专题属性表)。点击下拉菜单 Query Builder(查询),选择"Usgh_id=167"(用于绘制垂直剖面图的小

支流)。因为所选的支流是一种面状特征，沿着这条支流的高程变化必须由高程格网导出。

2. 从 Theme 下拉菜单选择 Convert to 3-D Shapefile(转变为三维 Shapefile)。在弹出的"Get Z values from"对话框里选择 Surface，再把 Surface 选为 plne。格网的采样距离设为 30m。把三维 Shapefile 文件命名为 Profile. shp。采样距离 30m 与 plne 的单元大小相同。
3. 激活 profile. shp。
4. 打开一个新图版(layout)，然后点击 Profile Graph(剖面图)工具按钮。在图版内划定要画垂直剖面的范围：将光标移到选定范围的左上角，按住鼠标左键把光标拖至右下角，然后放开鼠标左键。
5. 在 Profile Graph Properties(剖面图属性)对话框里，设定垂直夸大因子为 10。点击 OK。图版显示出所选河流的垂直剖面。

1.3　创建晕渲专题图

1. 激活 plne，从 Surface 下拉菜单中选择 Compute Hillshade(计算晕渲)。选取方位角默认值为 315，高度角默认值为 45。换言之，创建晕渲专题图的光源来自西北方向，与地平面呈 45°夹角。点击 OK。
2. 点击 Hillshade of Plne，画出晕渲专题。

1.4　创建透视图

1. ArcView 通过 3-D-Scenes(三维图景)文档来制作三维透视图，3-D-Scenes 文档调用了 3-D Analyst 模块而加进的。选择 3-D-Scenes 文档并双击 New 按键，打开了一个单独的目录表和一个 3-D viewer(三维阅读器)。
2. 从 3-D Scene 菜单选择 Add Theme(添加专题)，把高程格网 plne 加到视图。原来的 plne 视图是二维的，从 Theme 下拉菜单中选择 3-D Properties (三维属性)。在 3-D Properties 对话框中，找到 Surface 并点击 OK。三维视图比例尺为 1∶1，即无垂直夸大。
3. 三维阅读器有一套工具用于制作三维视图。Navigate 使你能以不同视角和距离观察地面。Rotate Viewer(旋转阅读器)工具能以逆时针方向自动旋转三维视图。点击 Stop 按钮可停止旋转。你也可用工具进行放大或缩小，查询或选择要素。
4. 下一步，在三维视图上叠置河流。在 3-D Scene 菜单上选择 Add Theme，并选择特征专题 streams. shp。因为 streams. shp 是二维专题，必须把它转换成三维 shape 文件。激活 streams. shp 并从 Theme 下拉菜单中选择 Convert to 3-D Shapefile。在接着的对话框中，选择 Surface 以获取 z 值，选择面专题为 plne，采样距离为 30m。然后，将新的 shapefile 文件命名为 strm3d. shp。显示 strm3d. shp，河流即叠置于三维表面上。
5. 你可用位于与 3-D-Scenes 文档一起的 View 文档进行操作。例如，你可创建 plne 的晕渲并以三维视图显示。

1.5 创建坡度专题图

1. 激活 plne，从 Surface 下拉菜单中选择 Derive Slope（生成坡度），据 plne 创建坡度专题图。点击复选框，显示坡度专题图。
2. 坡度专题图是浮点型格网。默认分类把坡度均分为 9 个以度为单位的类型。你想要根据你的意图来划分图例类型的话，从 Analysis 菜单选择 Reclassify（重新分类）。点击 Classify（分类）按钮。把类型数目改变为 5，并点击 OK。在 Reclassify Values（重新分类值）对话框里，将原值相应改变为 0～10、10～20、20～30、30～40 和 40～55，并点击 OK。新专题图 Reclass of Slope 以 10 度为间隔分类。画出新专题图。
3. 重新分类不但改变了坡度分类，而且把坡度专题由浮点型格网转变为整型格网。整型格网的好处在于可以显示属性数据。从 Theme 菜单选择 Table 来显示数值属性和 Reclass of Slope 的计数。数值表示重新分类后的坡度值：1 代表 0°～10°，2 代表 10°～20°，以此类推。计数表明每种坡度类型的单元数。把一种坡度类型的计数值除以全部计数值，可以得到该坡度类型的面积百分数。

1.6 创建坡向专题图

1. 激活 plne，在 Surface 下拉菜单中选择 Derive Aspect（生成坡向）以创建坡向专题。坡向专题以 9 个类别显示：平坦、北、北东、东、南东、南、南西、西和北西。但是坡向格网实际上是浮点型格网，没有专题属性表。用 Analysis 下拉菜单中的 Reclassify 把坡向格网转换成整型格网，或改变坡向分类。例如，由八个方向变成四个基本方向。
2. 用下列 Reclassify Values（重新分类数值）对话框中的表格，把坡向格网转换成整型格网，但仍保持八个基本方向不变。

旧值	−1	0～22.5	22.5～67.5	67.5～112.5	112.5～157.5
新值	−1	1	2	3	4
旧值	157.5～202.5	202.5～247.5	247.5～292.5	292.5～337.5	337.5～360
新值	5	6	7	8	1

“北”是由表中的两个部分组成：0°～22.5° 和 337.5°～360°，平坦地区的值为−1。如同坡度类型，可以通过打开 Reclass of Aspect 专题的属性表，得到不同坡向的面积百分比。

3. 用下列 Reclassify Values（重新分类数值）对话框中的表格，把坡向格网转换成整型格网，并把八个方向转变成四个基本方向。

旧值	−1	0～45	45～135	135～225	225～315	315～360
新值	−1	1	2	3	4	1

该分类把研究区分成平坦地区和四个基本方向（北、东、南和西）。“北”由两部分组成：一是从 0°～45°，另一部分是从 315°～360°。

习作2　视域分析

所需数据：高程格网 plne；瞭望哨位置的 shapefile 文件 lookouts.shp

高程格网 plne 与习作1同。瞭望哨位置专题含有两个点：标识点1和2。视域分析要定出在 plne 中从两个瞭望哨位置可视和不可视的范围。

1. 启动 ArcView，载入 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图，把 plne 和 lookouts.shp 加到视图。
2. 激活 lookouts.shp。从 Theme 下拉菜单中选择 Auto-label（自动标注），标注出两个监视哨位置。在 Auto-label 对话框内，选 Id 作为 Label Field，点击 OK。
3. 激活 lookouts.shp 和 plne，因为这两个专题均为视域分析所必需。从 Surface 菜单选择 Calculate Viewshed（计算视域）。
4. 画出 Visibility of Lookouts.shp 专题。研究区被分为可视和不可视。激活可视专题并打开其专题属性表。表上的第一个记录表示从瞭望哨不可视的单元数。第二个记录表示从一个瞭望哨可视的单元数。第三个记录表示从两个瞭望哨可视的单元数。你也可通过创建一个新专题并在其上添加点，创建你自己的瞭望哨 shapefile 文件。以下说明如何创建瞭望哨 Shapefile 文件：

1. 从 View 下拉菜单中选择 New Theme，选择 Point 为 Feature Type。命名新专题为 newpoints.shp 并存盘。
2. 点击 Draw Point 工具按钮。点击两个或更多点作为瞭望哨位置的选择。点击 Select Graphics（选择图形）工具并点击视图上研究区以外的任一处，使之退出。从 Theme 菜单中选择 Stop Editing 并将产生的变化存盘。
3. 这一步是标注瞭望哨位置的 ID。激活 newpoints.shp。从 Theme 下拉菜单中选择 Table，并打开 newpoints.shp 的表。在 Table 下拉菜单中选择 Starting Editing。点击 ID 以激活它。点击 Edit 工具。点击 ID 下的第一个单元，并输入 ID 值为1。重复该步骤，输入其他单元的 ID 值。
4. 从 Table 菜单选择 Stop Editing，并把已编辑的存盘。至此，你自己的瞭望哨 shapefile 文件已可用于视域分析。

习作3　ArcView 中不规则三角网的建立和显示

所需数据：高程格网 emidalat；河流的 shapefile 文件 emidastrm.shp。

习作3引导你如何从高程格网构建 TIN（不规则三角网），以及用 emidastrm.shp 作为截断线（breaklines）来修改 TIN。你还将显示具有高程、坡度、坡向数据的 TIN。

1. 启动 ArcView 并载入 3-D Analyst 和 Spatial Analyst 扩展模块。把 emidalat 和 emidastrm.shp 加到视图。
2. 第一步要从 emidalat 构建 TIN。激活 emidalat。从 Theme 下拉菜单中选择 Convert Grid to TIN（将格网转换为 TIN）。将输出的 TIN 命名为 emidatin。输入 10m 作为 z-值的容差。正如在本章所解释过的，3-D Analyst 模块应用最大 z-容差构建 TIN。输出值 10m 意味着在任一单元位置上，只要高差超过 10m，TIN 与 emidalat 没有差别。

3. 下一步，用 emidastrm.shp 修改 emidatin。激活 emidatin。从 Theme 下拉菜单中选择 Starting Editing。目录中 emidatin 之前的复选框出现虚线，意味着 emidatin 正等待修改。激活 emidastrm.shp。从 Surface 下拉菜单中选择 Add Features to TIN（添加要素到 TIN）。在 Create New TIN（创建新 TIN）对话框内，Height Source 选 Spot，Input 选 Hard Breaklines。Hard breaklines 为重新构建的 TIN 提供新三角形的边。点击 OK。emidatin 现已修改好。激活 emidatin。从 Theme 下拉菜单中选择 Stop Editing，并将已编辑的 emidatin 存盘。
4. 现在可用几种方式来观看 emidatin。打开 emidatin 的 Edit Legend（图例编辑器），在图例编辑器对话框中，对 Points 的复选框打钩，关闭 Lines 和 Faces。点的图例类别包括 Single Symbol（单一符号）和 Elevation Range（高度范围）。先尝试 Single Symbol 并点击 Apply。点符号表示 emidatin 的结点。注意较多的点位于河流沿线和丘陵地区。下一步尝试 Elevation Range，点状符号以颜色区分高度范围。
5. 再看 emidatin 中的三角形，选定 Lines 和 Single Symbol 图例，关闭 Points 和 Faces。点击 Apply。
6. Surface 的图例类别包括 Single Symbol、Elevation Range、Slope 和 Aspect。这里的面是指 emidatin 中的三角形面。图例类别允许你用代表高度范围、坡度或坡向的符号来显示 emidatin。
7. 你也可以在 emidatin 中查询三角形。把 Line 的图例改成 Single Symbol，Face 图例改成 Elevation Range，点击 Apply。然后对小范围放大，以至于能清楚地看见三角形。按下 Identify 工具按钮，点击三角形内的几个点，你将在 Identify Results 对话框里看到坡度、坡向值不变，但当你每点击一个新的点时高度值都变化。
8. 本习作的最后部分是观看三维图景的 emidatin。在 ArcView 的目录中点击 3-D Scenes（三维图景）并打开一个新的 3-D Scene Viewer（三维图景阅读器）。把 emidatin 作为新专题加到视图中。你将看到一个 emidatin 的三维视图。注意 emidatin 的三维视图是清晰的，因为三角面的缘故。用 3-D Viewer 的工具旋转或移动 emidatin。你也可以将其放大或缩小。emidatin 三维图景的图例编辑器和常规图景一样。因此，你可通过把图例类别改变为点、线和面来改变 emidatin 的显示。

习作 4　ARC/INFO 中不规则三角网的建立和显示

所需数据：高程格网 emidalat；河流的图层 file 文件 breakstrm。

与习作 3 类似，习作 4 用 emidalat 和 breakstrm 来创建 TIN，并由 TIN 来生成坡度和坡向。但是在习作 4 中，你将在 ARC/INFO 中采用 VIP 算法来构建 TIN，并且由 TIN 来生成多边形图层格式的坡度和坡向图。

1. VIP 算法从高程格网中选择极重要点，TIN 将包含这些点。ARC/INFO 允许用户指定所选高程点的百分数。默认值是 10%。

   Arc: vip emidalat emidavip　　　/* emidavip 是输出的点图层
2. ARC/INFO 中的 CREATETIN 可利用不同来源的数据创建 TIN。对于本习作，

你将利用两种数据源：① 由 VIP 算法选择的高程点。② emidastrm 的硬截断线(hard breakline)。emidastrm 中的河流沿线的高程来自高程格网 emidalat。CREATETIN 是一个对话式命令。你将在对话框使用次级命令输入数据。

Arc：createtin emidatin2　　/* emidatin2 是 TIN 输出

：cover emidavip point　　/* 从 emidavip 输入高程点

：lattice emidalat breakstrm line hardline　　/* 输入 emidastrm 作为 hardline

：end　　/* 退出 createtin

3. 下一步把 emidatin2 转换为多边形图层文件。emidatin2 中的每个三角形变成带有坡度、坡向量度的多边形。坡度以百分制或度表示。

   Arc：tinarc emidatin2 emidapoly poly percent /* emidapoly 是多边形图层文件

4. Emidapoly 包含百分制坡度和坡向等项。百分制坡度值分成几个类型，坡度代码 1＝0%～20%，坡度代码 2＝20%～40%，等等。完成坡度分类后，可用坡度代码作为融合项(dissolve item)把 emidapoly 转化为多边形坡度图。以下是把 emidapoly 转化成 emidaslope 坡度图的命令。

   Arc：dissolve emidapoly emidaslope slopecode poly

参考文献

Bolstad, P. V., and T. Stowe. 1994. An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope, and Aspect. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60: 1327—1332.

Carter, J. R. 1989. Relative Errors Identified in USGS Gridded DEMs. *Proceedings, AUTO-CARTO* 9, pp. 255—265.

Carter, J. R. 1992. The Effect of Data Precision on the Calculation of Slope and Aspect Using Gridded DEMs. *Cartographica* 29: 22—34.

Chang, K., and B. Tsai. 1991. The Effect of DEM Resolution on Slope and Aspect Mapping. *Cartography and Geographic Information Systems* 18: 69—77.

Chang, K., and Z. Li. 2000. Modeling Snow Accumulation with a Geographic Information System. *International Journal of Geographical Information Science* 14: 693—707.

Chen, Z. T., and J. A. Guevara. 1987. Systematic Selection of Very Important Points (VIP) from Digital Terrain Model for Constructing Triangular Irregular Networks. *Proceedings, AUTO-CARTO* 8, pp. 50—56.

Eyton, J. R. 1991. Rate-of-Change Maps. *Cartography and Geographic Information Systems* 18: 87—103.

Fleming, M. D., and R. M. Hoffer. 1979. *Machine Processing of Landsat MSS Data and DMA Topographic Data for Forest Cover Type Mapping*. LARS Technical Report 062879. Laboratory for Applications of Remote Sensing, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.

Florinsky, I. V. 1998. Accuracy of Local Topographic Variables Derived From Digital Elevation Models. *International Journal of Geographical Information Systems* 12: 47—61.

Franklin, S. E. 1987. Geomorphometric Processing of Digital Elevation Models. *Computers & Geosciences* 13: 603—609.

Gao, J. 1998. Impact of Sampling Intervals on the Reliability of Topographic Variables Mapped from Grid DEMs at a Micro-Scale. *International Journal of Geographical Information Systems* 12: 875—890.

Hodgson, M. E. 1998. Comparison of Angles from Surface Slope/Aspect Algorithms. *Cartography and Geographic Information Systems* 25: 173—185.

Horn, B. K. P. 1981. Hill Shading and the Reflectance Map. *Proceedings of the IEEE* 69(1): 14—47.

Isaacson, D. L., and W. J. Ripple. 1990. Comparison of 7.5-Minute and 1-Degree Digital Elevation Models.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 56: 1523—1527.

Jenson, S.K., and J.O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54: 1593—1600.

Jones, K.H. 1998. A Comparison of Algorithms Used to Compute Hill Slope As a Property of the DEM. *Computers & Geosciences* 24: 315—323.

Jones, T.A., D.E. Hamilton, and C.R. Johnson. 1986. *Contouring Geologic Surfaces with the Computer*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Kumler, M.P. 1994. An Intensive Comparison of Triangulated Irregular Networks (TINs) and Digital Elevation Models (DEMs). *Cartographica* 31 (2): 1—99.

Lee, J. 1991. Comparison of Existing Methods for Building Triangular Irregular Network Models of Terrain from Grid Digital Elevation Models. *International Journal of Geographical Information Systems* 5: 267—285.

Moore, I.D. 1996. Hydrological Modeling and GIS. In M.F. Goodchild, L.T. Steyaert, B.O. Parks, C. Johnston, D. Maidment, M. Crane, and S. Glendinning (eds.). *GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*. Fort Collin, CO: GIS World Books, pp. 143—148.

Moore, I.D., R.B. Grayson, and A.R. Ladson. 1991. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Process* 5: 3—30.

O'callaghan, J.F., and D.M. Mark. 1984. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 28: 323—344.

Ritter, P. 1987. A Vector-Based Slope and Aspect Generation Algorithm. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53: 1109—1111.

Sharpnack, D.A., and G. Akin. 1969. An Algorithm for Computing Slope and Aspect from Elevations. *Photogrammetric Engineering* 35: 247—248.

Skidmore. A.K. 1989. A Comparison of Techniques for Calculationg Gradient and Aspect from a Gridded Digital Elevation Model. *International Journal of Geographical Information Systems* 3: 323—334.

Thelin, G.P., and R.J. Pike. 1991. *Landforms of the Conterminous United States: A Digital Shaded-Relief Portrayal*. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey. Map I-2206. scale 1:3 500 000.

Tsai, V.J.D. 1993. Delaunay Triangulations in TIN Creation: An Overview and Linear Time Algorithm. *International Journal of Geographical Information Systems* 7: 501—524.

Zevenbergen, L.W., and C.R. Thorne. 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms* 12: 47—56.

Zhang, W., and D.R. Montgomery. 1994. Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, and Hydrologic Simulations. *Water Resources Research* 30: 1019—1028.

第 13 章 空间插值

13.1 引 言

除了在第 12 章中涉及的陆地表面外,GIS 用户还会遇上其他类型的面,这些面本来可能无法实际显示,但可用生成土地表面同样方法使其可视化。地图制图员称之为第二种面即统计面 (Robinson 等 1995)。统计面的例子包括降水量、积雪量、水位和人口密度等。

如何构建一个统计面?这与构建陆地表面相似,只是要求输入的资料局限为点数据样本。例如,为了构建一幅降水量图,人们找不到像数字高程模型那样规则分布的气象站,因此,需要在样本点之间的数据填充过程。

空间插值是用已知点的数值来估算其他点的数值的过程。例如,在一个没有记录数据的地点,其降水量可通过对附近气象站已知降水量记录的插值来估算出来。在 GIS 应用中,空间插值主要用于栅格数据,估算出格网中每个单元的值。因此,空间插值是将点数据转换成面数据的一种方法。

空间插值的方法通常分成两种:全局和局部方法(Burrough 等 1998)。两种方法的差别在于控制点的使用,控制点就是已知数值的点,用于估算未知点的数值。全局方法是利用每个可利用的控制点来估算未知点的数值,而局部方法用控制点的样本来进行估算。

本章分成三个主要部分。第一部分讲述已知点在空间插值中的作用;第二部分涉及全局方法;第三部分对局部方法作概述并对不同的局部方法作比较。空间插值比 GIS 中的其他主题更依赖于算法。本章包括一些实例用于说明空间插值如何运算。本章用 ArcView 和 ARC/INFO 作为例子,许多其他的 GIS 软件包也有空间插值的功能(注释栏 13.1)。

注释栏 13.1　地理信息系统软件包中的空间插值[illegible]

空间插值通常包括在基于栅格的 GIS 软件包中。以下列出了一些本章所述及的和 GIS 软件包中所携有的插值方法:

趋势面: ARC/INFO, IDRISI, GRASS, ILWIS

回归: ARC/INFO, IDRISI, GRASS (线性回归)

反距离权重插值: ARC/INFO, ArcView, IDRISI, GRASS, ILWIS, MFworks, SPANS, Vertical Mapper

样条函数: ARC/INFO, ArcView, GRASS (规则张力样条)

克里金法: ARC/INFO, IDRISI, ILWIS, GRASS, MFworks, SPANS, Vertical Mapper

13.2 控 制 点

控制点是已知数值的点，控制点的数目和分布极大地影响空间插值的精度（Robinson 等 1995）。空间插值的一个基本假设是估算点的值受邻近控制点的影响比较远控制点的影响更大。为了估算效果更好，控制点在研究区内应有适当的分布，但在现实应用中极少出现这种理想状况。一个研究区经常包含有数据贫乏的地区，这是估算的一个主要问题。

图 13.1 是一幅爱达荷州 105 个气象站及其 30 年年平均降水量数据的地图。该地图清楚地显示本州的两个主要数据贫乏地区：中部（克利尔沃特山区、萨蒙河山区和 Lemhi 山脉）和西南角（Owyhee 山）。如同本章后面将述及的，这些数据贫乏地区在空间插值时会发生问题。

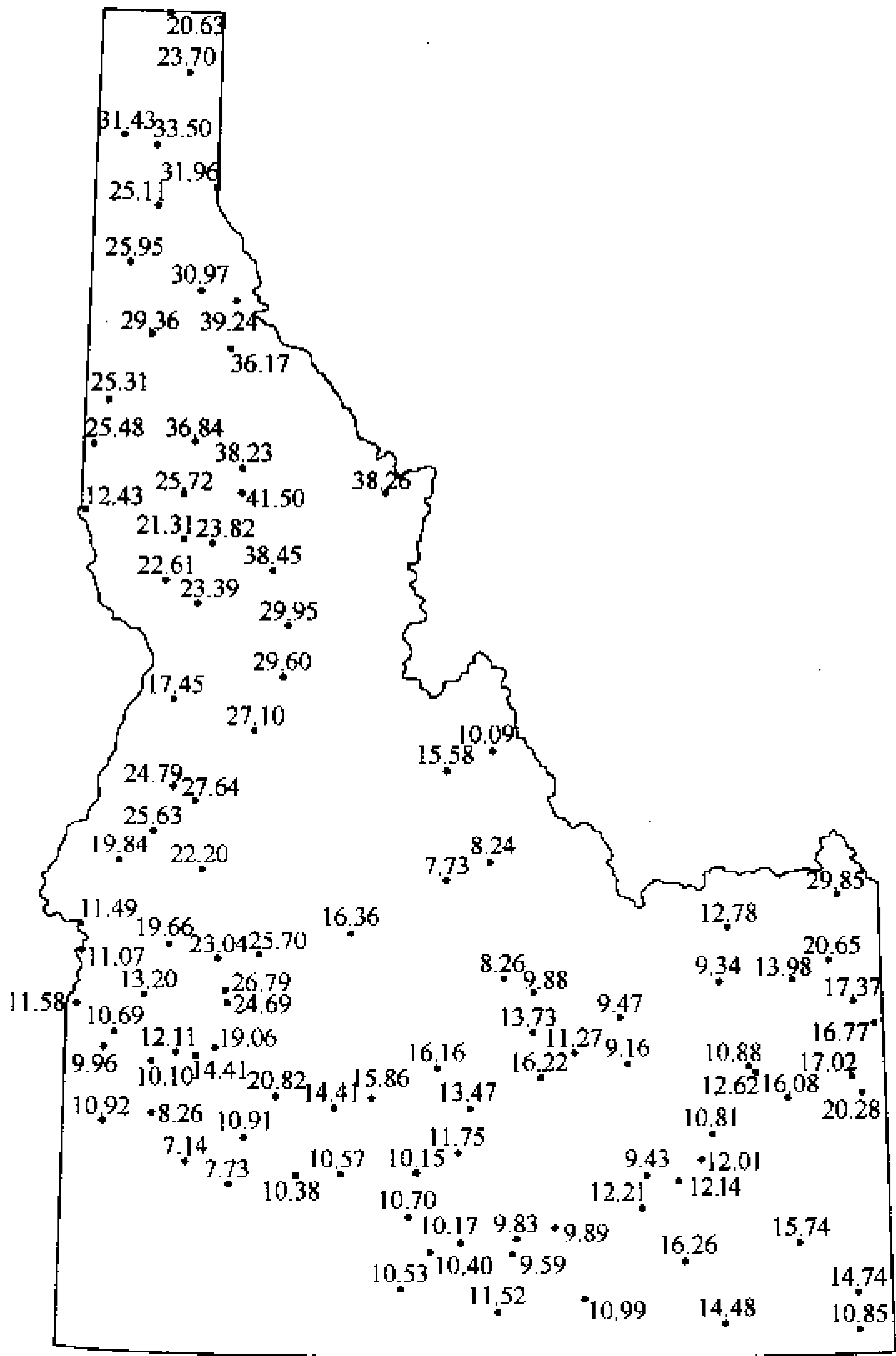


图 13.1 爱达荷州 105 个气象站 30 年年平均降水量图。

13.3 全局方法

全局方法利用每个可利用的控制点来构建一个方程或一个模型，而后该模型可用于估算未知数值 。

13.3.1 趋势面分析

趋势面分析用多项式方程可近似拟合已知数值的点(Davis 1986，Bailey 等 1995)。该方程又称趋势面模型，能用于估算其他点的数值。线性或一阶趋势面用如下方程：

$$z_{x,y} = b_0 + b_1x + b_2y \tag{13.1}$$

这里的特征值 z 是 x 和 y 的函数。系数 b 由控制点估算(注释栏 13.2)。因为趋势面模型至少需要二阶方程，其拟合程度可用相关系数确定(R^2)。而且，每个已知点观测值和估算值之间的偏差或残差可以计算出来。

多数自然现象的分布通常比由一次趋势面生成的倾斜面更复杂。因此，拟合更复杂的面要求更高次的趋势面模型，例如，三次或三阶趋势面基于如下方程：

$$z_{x,y} = b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4xy + b_5y^2 + b_6x^3 + b_7x^2y + b_8xy^2 + b_9y^3 \tag{13.2}$$

不像线性面，三次面包含山和谷。统计检验(F 检验)能用于比较几种可选模型的拟合程度。GIS 软件包如 ARC/INFO 提供了多达 12 次趋势面模型。图 13.3 显示一幅由 105 个数据点构建的爱达荷州年平均降水量的三阶趋势面等值线图。趋势面输出是单元大小为 2000m 的格网。该模型存在的一个明显问题是在该州数据贫乏的西南角出现负值。

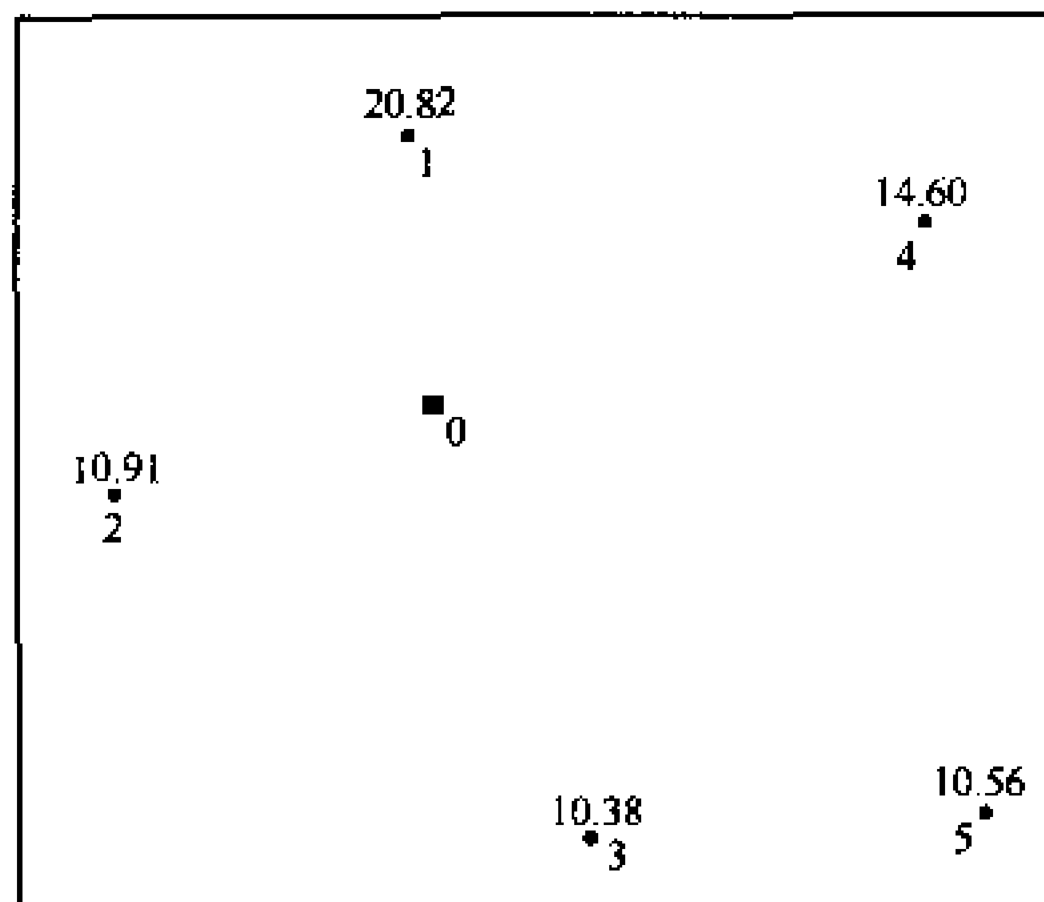


图 13.2 0 号站点的未知值由其周围具有已知值的 5 个站点插值。

趋势面分析的例子

图 13.2 显示五个已知值的气象站点，围绕着未知数值的 0 号站点。下表显示各个点的 x、y 坐标，用格网单元大小为 2000m 的行和列来表示，它们的已知值是：

站点	x	y	z 值
1	69	76	20.820
2	59	64	10.910
3	75	52	10.380
4	86	73	14.600
5	88	53	10.560
0	69	67	?

本例说明如何用方程 13.1，或是一个线性趋势面来对未知值的 0 号站点进行插值。最小二乘法通常用于计算方程 13.1 中 b_0、b_1 和 b_2 系数。因此，第一步是建立如下三个法方程(normal equations)，与回归分析的方程相似。

$$\sum z = b_0 n + b_1 \sum x + b_2 \sum y$$

$$\sum xz = b_0 \sum x + b_1 \sum x^2 + b_2 \sum xy$$

$$\sum yz = b_0 \sum y + b_1 \sum xy + b_2 \sum y^2$$

以上方程可以改写成矩阵形式：

$$\begin{bmatrix} n & \sum x & \sum y \\ \sum x & \sum x^2 & \sum xy \\ \sum y & \sum xy & \sum y^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum z \\ \sum xz \\ \sum yz \end{bmatrix}$$

用五个已知点的值，我们能计算出统计值并将代入方程：

$$\begin{bmatrix} 5 & 377 & 318 \\ 377 & 29\,007 & 23\,862 \\ 318 & 23\,862 & 20\,714 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 67.270 \\ 5043.650 \\ 4445.800 \end{bmatrix}$$

将左边的第一个逆矩阵与右边的矩阵相乘，我们能算出系数 b：

$$\begin{bmatrix} 23.210 & -0.163 & -0.168 \\ -0.163 & 0.002 & 0.000 \\ -0.168 & 0.000 & 0.002 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 67.270 \\ 5043.650 \\ 4445.800 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10.094 \\ 0.020 \\ 0.347 \end{bmatrix}$$

0 号站点的未知值可用这些系数由下式估算：

$$p_0 = -10.094 + (0.020)(69) + (0.349)(67) = 14.669$$

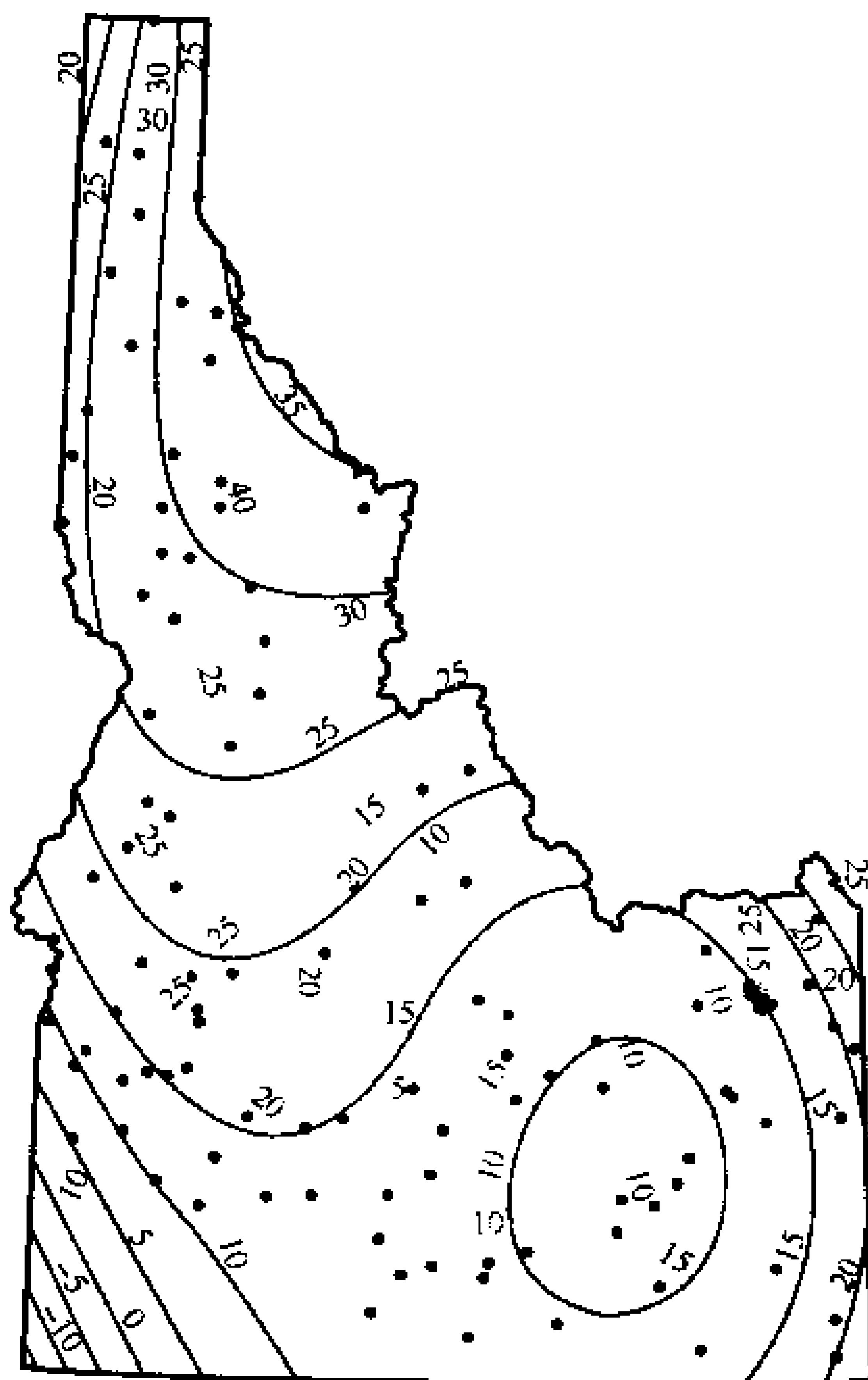


图 13.3　从 105 个具有年降水量数值的控制点生成的三阶趋势面等值线地图。

13.3.2　回归模型

回归模型把方程中的一个因变量与多个自变量联系起来，而后可用于预测或估算。许多回归模型用非空间属性(如收入和教育)而不被视为空间插值方法。但也有例外，回归模型中也有用到空间变量，如远离河流的距离(Burrough 等 1998)。例如，Chang 和 Li (2000)建立的一个回归模型，用雪水量(SWE)作为因变量，位置和地形变量作为自变量，其流域模型的表达形式如下：

$$\mathrm{SWE} = b_0 + b_1\mathrm{EASTING} + b_2\mathrm{SOUTHING} + b_3\mathrm{ELEV} + b_4\mathrm{PLAN1000} \qquad (13.3)$$

这里 EASTING 和 SOUTHING 分别对应一个高程格网的行数和列数，ELEV 是高程值，PLAN1000 是表面曲率的测度。方程 13.3 中的系数 b 由该流域内的一组具有已知值的雪道样本估算而得。该回归模型可用于估算该流域所有单元的雪水量(SWE)，并生成一个连续的 SWE 面。

13.3.3 ARC/INFO 和 ArcView 中的全局方法

ARC/INFO 的 TREND 命令能用于运行 1～12 阶趋势面分析。REGRESSION 命令能进行回归分析，但 REGRESSION 没有提供模型选择的方法(例如，逐步回归、最大 R^2 等)。ArcView 没有可用于趋势面或回归分析的菜单，但 ArcView 用户可用 Avenue 程序脚本(scripts)进行趋势面分析（注释栏 13.3)。

趋势面分析的 Avenue 程序脚本

下面的程序能创建一幅插值的降水量格网，它可用于做出与图 13.3 相似的等值线图。

```
'Add the point theme to view and activate the theme.
theView = av.GetActiveDoc
theTheme = theView.GetActiveThemes.Get(0)
'Prepare the analysis properties.
theAE = AnalysisPropertiesDialog.Show(theView,FALSE, "Analysys Properties")
theAE.Activate
'MakeTrend prepares a third-order interpolator.
theInterp = interp.MakeTrend(3, FALSE)
'Get the map projection of the point theme.
aPrj = theView.GetProjection
'Set ann_prec as the Z field for interpolation.
theFTab = theTheme.GetFTab
theField = theFTab.FindField("ann_prec")
'Interpolate a grid using theInterp.
theResult = Grid.MakeByInterpolation(theTheme.Get
FTab,aPrj,theField,theInterp,NIL)
'Make a grid theme from theResult and add it to view.
theGTheme = GTheme.Make(theResult)
theView.AddTheme(theGTheme)
```

13.4 局部方法

局部插值方法用一组控制点样本来估算未知值，因此控制点对该方法十分重要。第一要点是用于估算的控制点个数。GIS 软件包通常允许用户自己确定控制点的个数或用默认值（例如，7～12 个控制点)。你也许认为控制点越多，估算结果越精确。然而这种设想的正确与否取决于控制点的分布与要估算单元的关系以及空间自相关程度。控制点越多通常意味着估算越通用化。

控制点个数确定之后，下一步就是控制点选择。简单办法是用离估算点最近的点作为控制点，另一种办法是用半径来选择控制点，半径的大小必须根据控制点的分布来调整。例如，ARC/INFO 和 ArcView 都提供了这两种方法。其他方法考虑了方向因素，例如，象限法或八方向法(Davis 1986)。象限法是从围绕每个要估算单元的四个方向选择控制点，八方向法是从八个方向来选择控制点。

13.4.1 泰森多边形

泰森(Thiessen)多边形围绕已知点样本构建而成，使得在泰森多边形内的任意点与多边形内的已知点更接近，而不是与其他已知点接近。泰森多边形最初用于估算区域降水量的平均值（Tabios 等 1985）。

泰森多边形要求在已知点之间构建初始三角形，亦即连接已知点形成三角形。因为连接点的方法不同，形成的三角形也不同。与构建不规则三角网相似，德劳内三角测量常用于构建泰森多边形(Davis 1986)。德劳内三角网测量确保了每个已知点都与它最近的点相接，这样就使得三角形尽量接近等边。经过三角形每条边的中点画垂线，连接起来就可以很容易地构建泰森多边形(图 13.4)。泰森多边形也称为冯罗诺多边形(*Voronoi polygons*)。

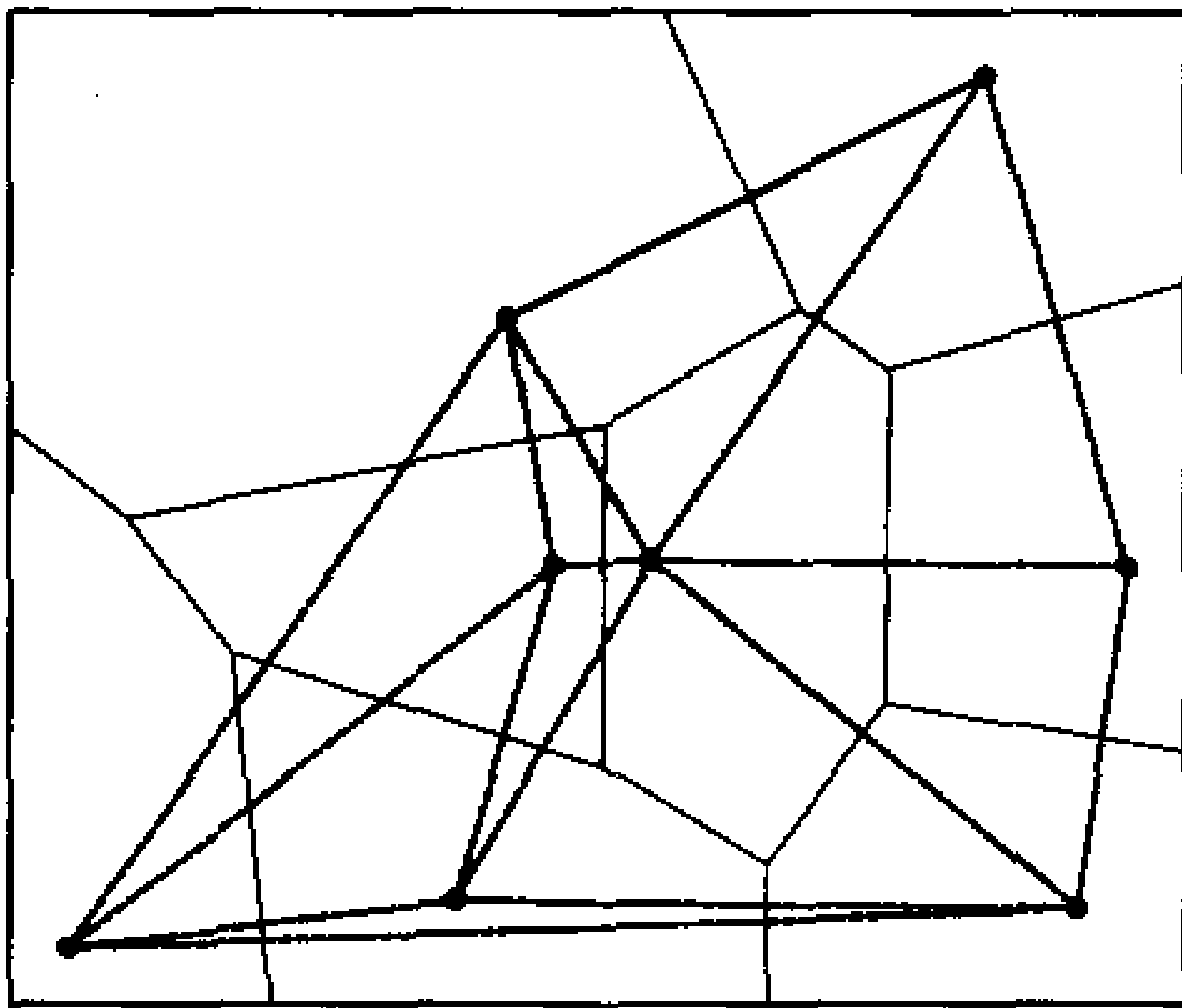


图 13.4 本图显示控制点、德劳内三角形(虚线表示的)和泰森多边形(实线表示的)。

13.4.2 密度估算

密度估算基于点的分布及其已知值来量测格网的密度。一种简单密度估算方法是将格网置于点分布图上，将落在每个单元的点列表，将点值加和，将单元的点值总和除以单元大小，就估算得每个单元的密度。

图 13.5 显示一个简单密度估算例子中的输入和输出。输入是以 50m 间距标绘的看到鹿的地点的分布，与遥感分辨率相协调。每个鹿的地点有一个计数值，表示在该地一只鹿被看到多少次。输出是密度格网：单元大小是 10 000m^2 或 1hm^2，密度用每公顷看到的次数来表示。基于单元格中心的圆形、矩形、楔形或环形可替代单元来进行密度估算。

核估算(kernel estimation)是一种不同的密度估算方法，它用核函数联系每一个点或观测点(Silverman 1986, Scott 1992, Bailey 等 1995)。表达为双变量概率密度函数，核函数看起来像是一个隆起(bump)，以一个点为中心在一个定义的带宽或窗口范围内逐

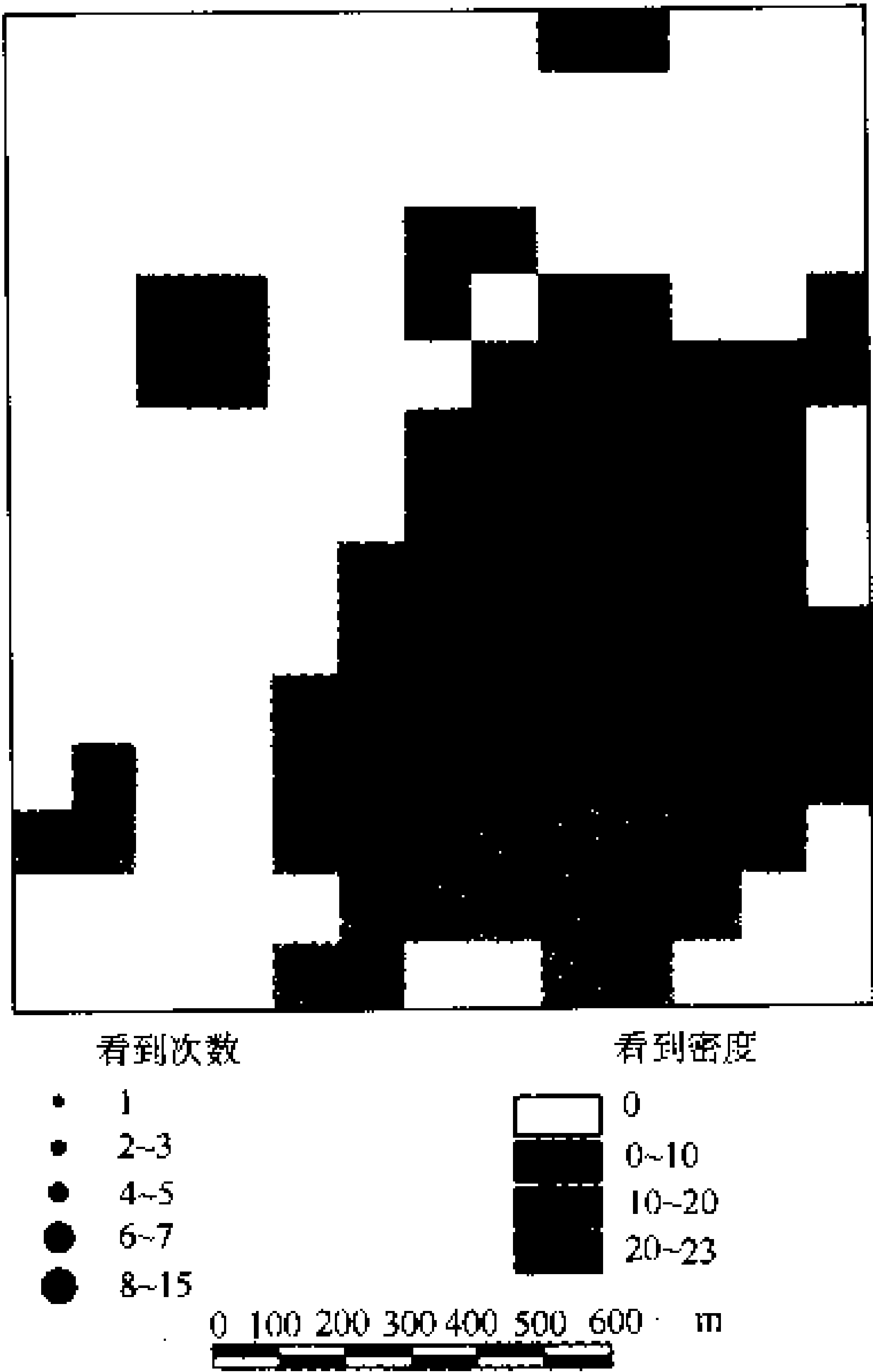


图 13.5 简单密度估算法用于由点数据计算每公顷看到鹿的次数。

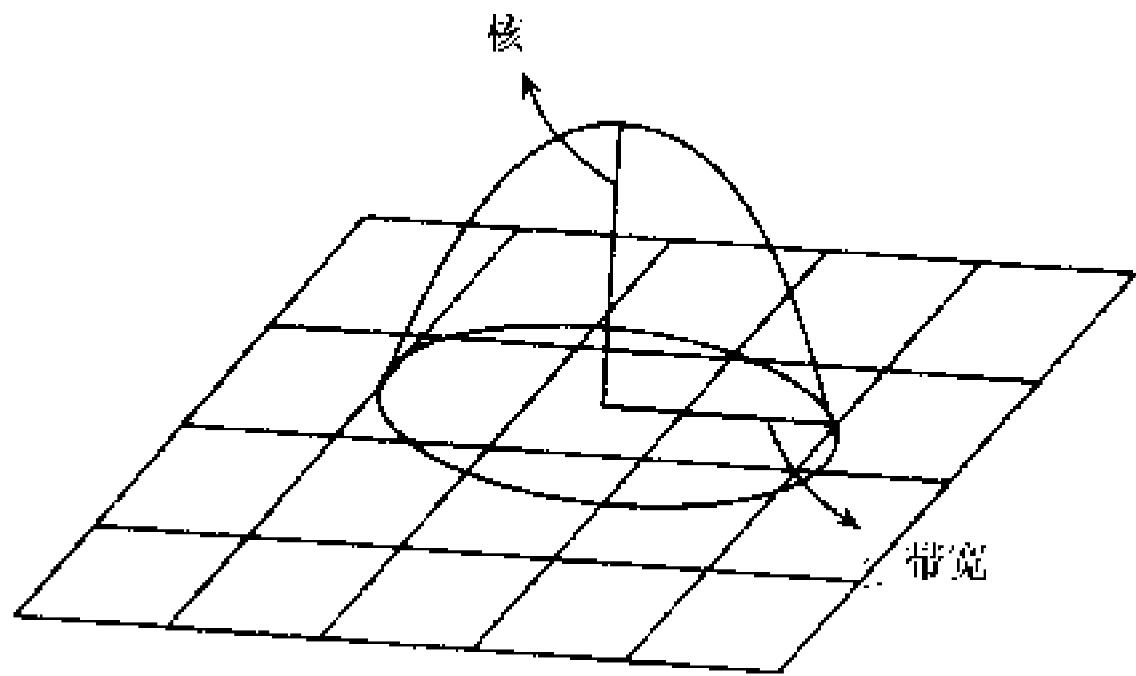


图 13.6 核函数，它是一个计算概率密度的函数，看起来像格网上的一个隆起。

渐减小到 0(Silverman 1986)(图 13.6)。核函数和带宽决定了隆起的形状，其形状反过来决定了在估算中的平滑量。在点 x 上的核密度估算值是带宽范围内位于观测点 x_i 上的隆起部分的总和。

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^d}\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{1}{h}(x - x_i)\right) \tag{13.4}$$

式中：$K()$是核函数；h 是带宽；n 是在带宽范围内的观测点数目；d 是数据的维度。对二维数据 ($d=2$)，核函数通常表示为

$$K(x) = 3\pi^{-1}(1 - X^{\mathrm{T}}X)^2,\quad \text{若 } X^{\mathrm{T}}X < 1 \tag{13.5}$$

否则，$K(x) = 0$

用方程 13.5 替代方程 13.4 中的 $K(\ )$，则方程改写成，

$$\hat{f}(x) = \frac{3}{nh^2\pi}\sum_{i=1}^{n}\left(1 - \frac{1}{h^2}((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2)\right)^2 \tag{13.6}$$

式中：π 是一个常数；$(x-x_i)$ 和 $(y-y_i)$ 是带宽范围内的点 x 和观测点 x_i 之间的 x、y 坐标的偏差。

使用与简单估算方法相同的输入数据，图 13.7 显示核估算法构建的密度格网输出结果。格网上的密度值是期望值而不是概率(注释栏 13.4)。虽然图 13.7 和图 13.5 间的差别不明显，但核估算法通常能产生比简单估算法更平滑的密度面。

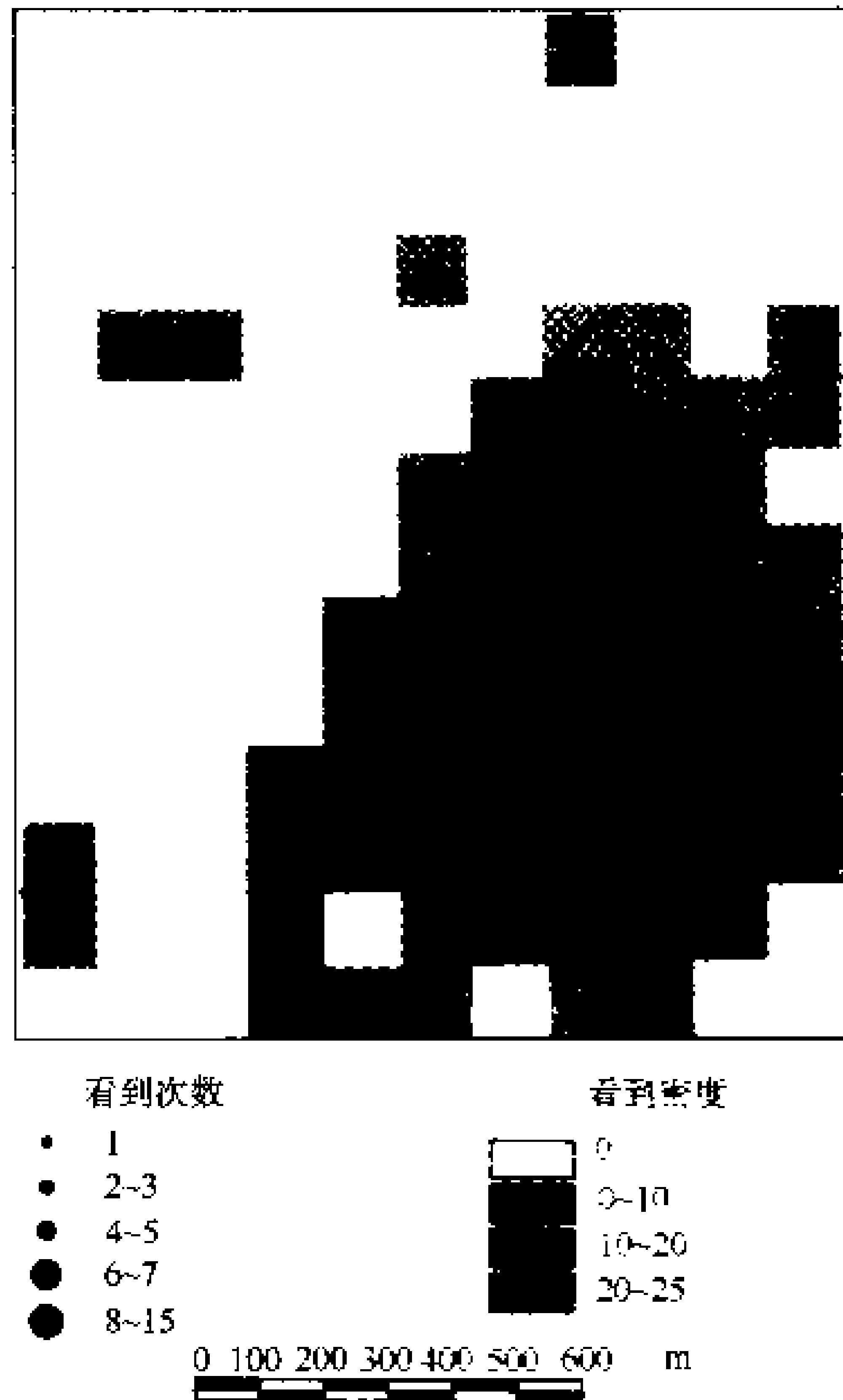


图 13.7 核估算方法用于由点数据计算每公顷观察到的次数。X 标记的单元是用在注释栏 13.4 中的例子。

核估算的例子

本例说明图 13.7 中 X 标记的单元值是如何得来的。窗口范围被定义成一个以 100m 为半径(h)的圆。因此，只有在单元中心 100m 半径范围内的点能影响单元密度的估算。用单元周围的十个点，我们可用下式计算单元的密度，

$$3/\pi\sum_{i=1}^{10} n_i(1-((x-x_i)^2+(y-y_i)^2)/h^2)^2$$

这里的 n_i 是在点 i 处的观测次数，x_i 和 y_i 是点 i 的 x、y 坐标，x 和 y 是要估计的单元中心的 x、y 坐标。因为密度是用每 10 000m^2 或 1hm^2 来度量，在方程 13.6 中 h^2 被省略掉了。又因为结果显示的是一个期望值而不是概率，因此在方程 13.6 中 n 不再需要。计算表明单元密度为 11.421。

13.4.3 反距离权重插值

反距离权重插值方法是一种局部方法，它假设未知值的点受较近控制点的影响比较远控制点的影响更大。这种方法通常用在计算机辅助制图方面(Monmonier 1982)。影响的程度(或权重)用点之间距离乘方的倒数表示。乘方为 1.0 意味着点之间数值变化率为恒定，该方法称为线性插值法。乘方为 2.0 或更高则意味着越靠近已知点，数值的变化率越大，远离已知点趋于平稳。

反距离权重方法的通用方程是

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{s} z_i \frac{1}{d_i^K}}{\sum_{i=1}^{s} \frac{1}{d_i^K}} \tag{13.7}$$

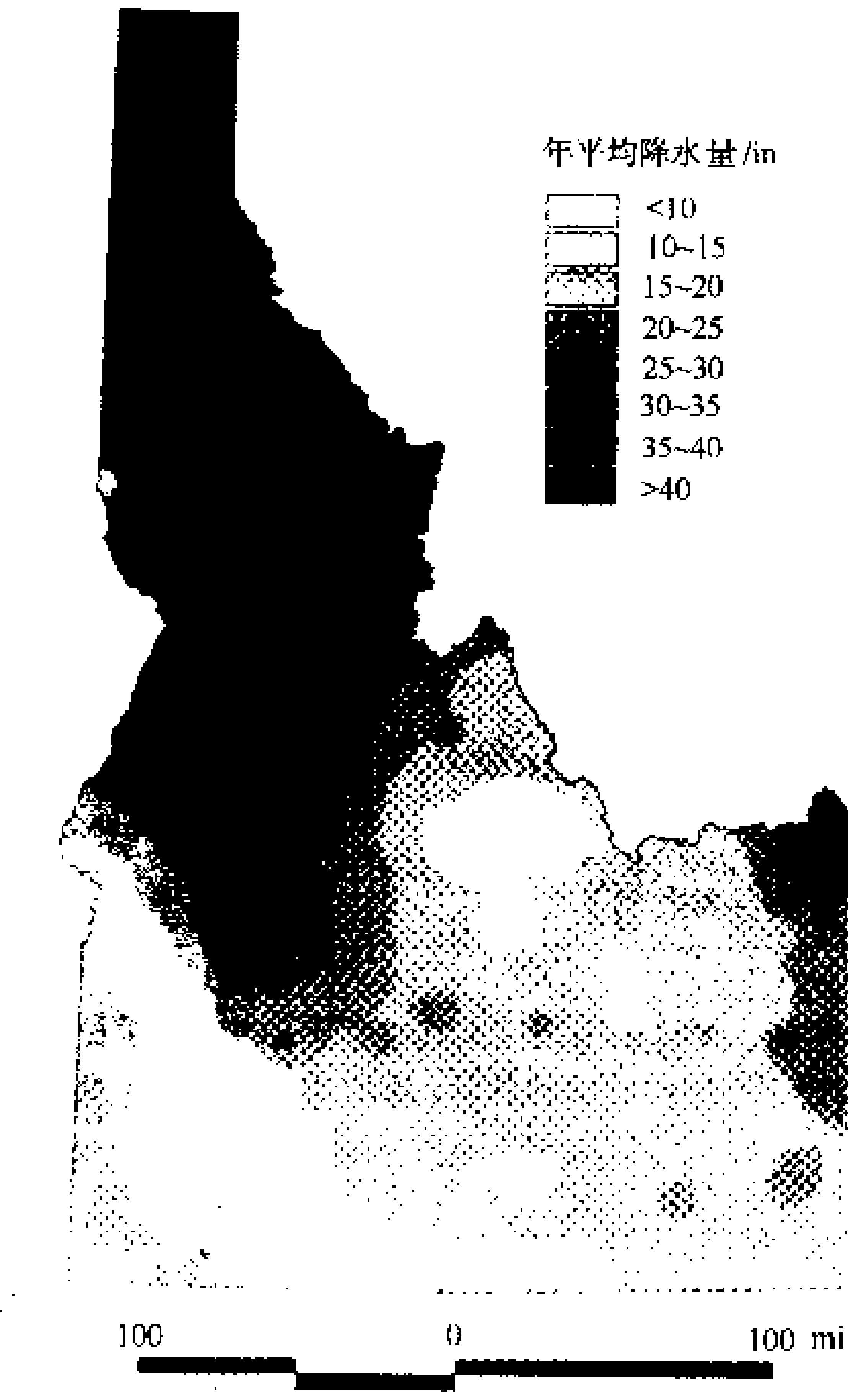


图 13.8 由反距离平方法生成的年降水量曲面地图。

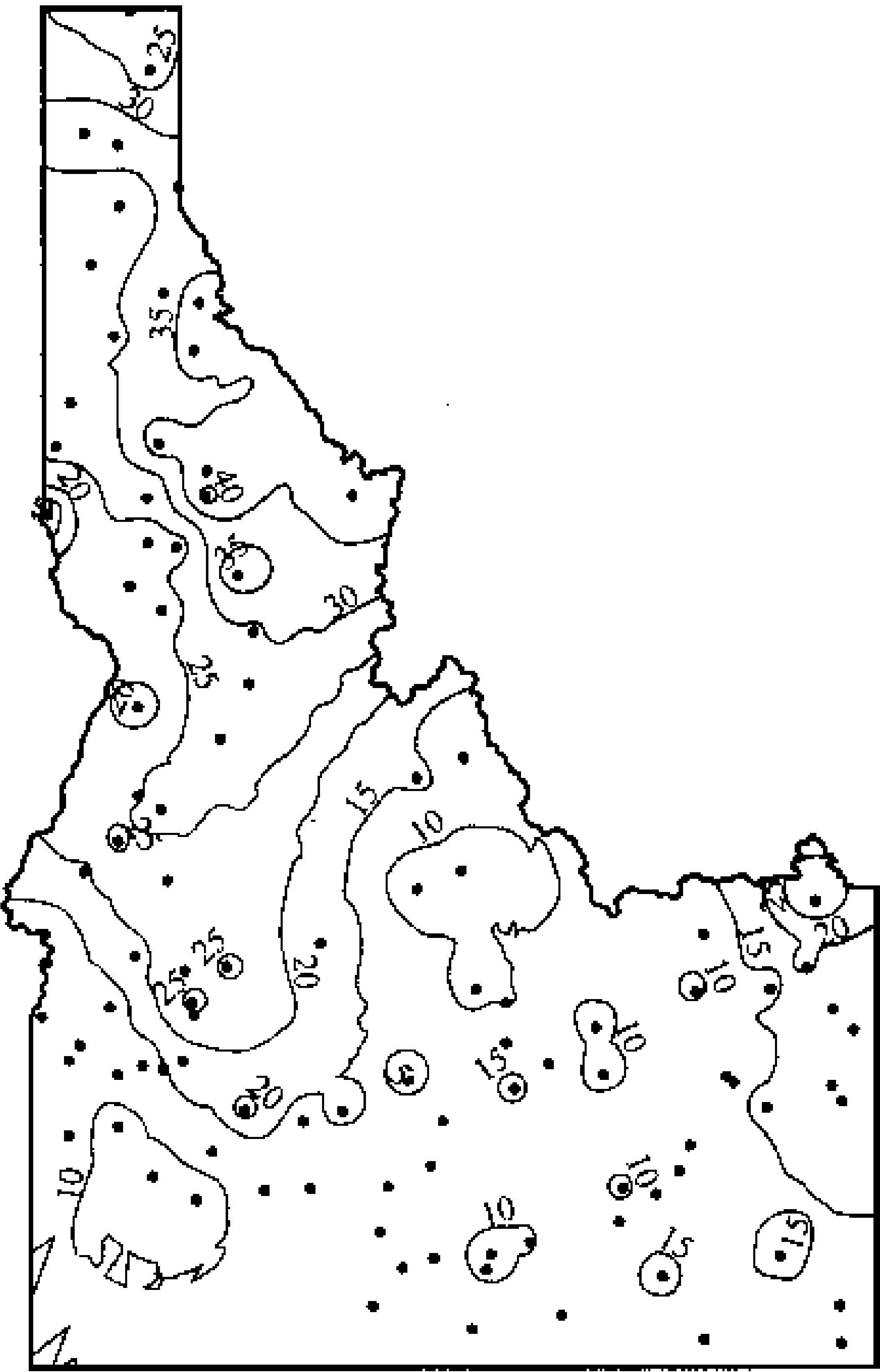


图 13.9 由反距离平方法生成的等雨量线地图。

式中：z_0 是点 0 的估计值；z_i 是控制点 i 的 z 值；d_i 是控制点 i 与点 0 间的距离；s 是在估算中用到的控制点的数目；k 是指定的幂。

图 13.8 显示对爱达荷州 105 个气象站点数据由反距离平方(幂为 2)方法建立的年平均降水量曲面(注释栏 13.5)。图 13.9 显示曲面的等雨量线图。等雨量线图比降水量曲面图更易阅读和比较。小的封闭等值线是反距离权重法的特征，爱达荷州西南角出现不规则的等值线是由于缺乏控制点所致。

[illegible]

本例用与注释栏 13.2 相同的数据，但用反距离平方法插值生成点 0 处的未知值。下表显示点 0 与五个已知点之间的距离(km)：

点号	距离
0，1	18.000
0，2	20.880
0，3	32.310
0，4	36.056
0，5	47.202

我们将已知值和距离代到方程 13.7 中，并且估算 z_0：

$$\sum z_i 1/d_i^2=(20.820)(1/18.000)^2+(10.910)(1/20.880)^2+(10.380)(1/32.310)^2+$$

$$(14.600)(1/36.056)^2+(10.560)(1/47.202)^2=0.1152$$

$$\sum 1/d_i^2=(1/18.000)^2+(1/20.880)^2+(1/32.310)^2+(1/36.056)^2+(1/47.202)^2=0.0076$$

$z_0=0.1152/0.0076=15.158$

13.4.4　薄板样条函数法

除了在空间插值中是应用于面而非线以外，空间插值样条函数(splines for special interpolation)与直线推广样条函数(splines for line generalization)在概念上是相似的。**薄板样条函数**(Thin-plate splines)建立一个通过控制点的面，并使所有点的坡度变化最小(Franke　1982)。换言之，薄板样条函数以最小曲率面拟合控制点。薄板样条函数的估计值由下式计算：

$$Q(x,y)=\sum A_i d_i^2 \log d_i + a + bx + cy \tag{13.8}$$

式中：x 和 y 是要被插值的点的 x、y 坐标；$d_i^2=(x-x_i)^2+(y-y_i)^2$；$x_i$和 y_i是控制点 i 的 x、y 坐标。薄板样条函数包括二个部分：$(a+bx+cy)$ 表示局部趋势函数，它与线性或一阶趋势面具有相同的形式，$d_i^2\log d_i$ 表示基本函数，可获得最小曲率的面 (Watson　1992)。相关系数 A_i，a、b 和 c 由以下线性方程组决定(Franke　1982)：

$$\sum_{i=1}^{n} A_i d_i^2 \log d_i + a + bx + cy = f_i \tag{13.9}$$

$$\sum_{i=1}^{n} A_i = 0 \tag{13.10}$$

$$\sum_{i=1}^{n} A_i x_i = 0 \tag{13.11}$$

$$\sum_{i=1}^{n} A_i y_i = 0 \tag{13.12}$$

式中：n 为控制点的数目；f_i为控制点 i 的已知值；系数的计算要求 $n+3$ 联立方程。

其他算法也可用于建立最小曲率的面，例如，在方程 13.9 中不用基本函数 $d^2\log d$，而用双调和格林函数（biharmonic Green function）$d^2(\log d-1)$（Watson 1992，Middleton 2000）。

薄板样条函数的一个主要问题是在数据贫乏地区的坡度较大，经常涉及如同过伸（overshoots）的情况。各种用于订正过伸的方法已被提出，包括薄板张力样条（thin-plate splines with tension）（Franke 1985，Mitas 等 1988），规则样条（regu-larized splines）（Mitas 等 1988）和规则张力样条（regularized splines with tension）（Mitasova 等 1993）。

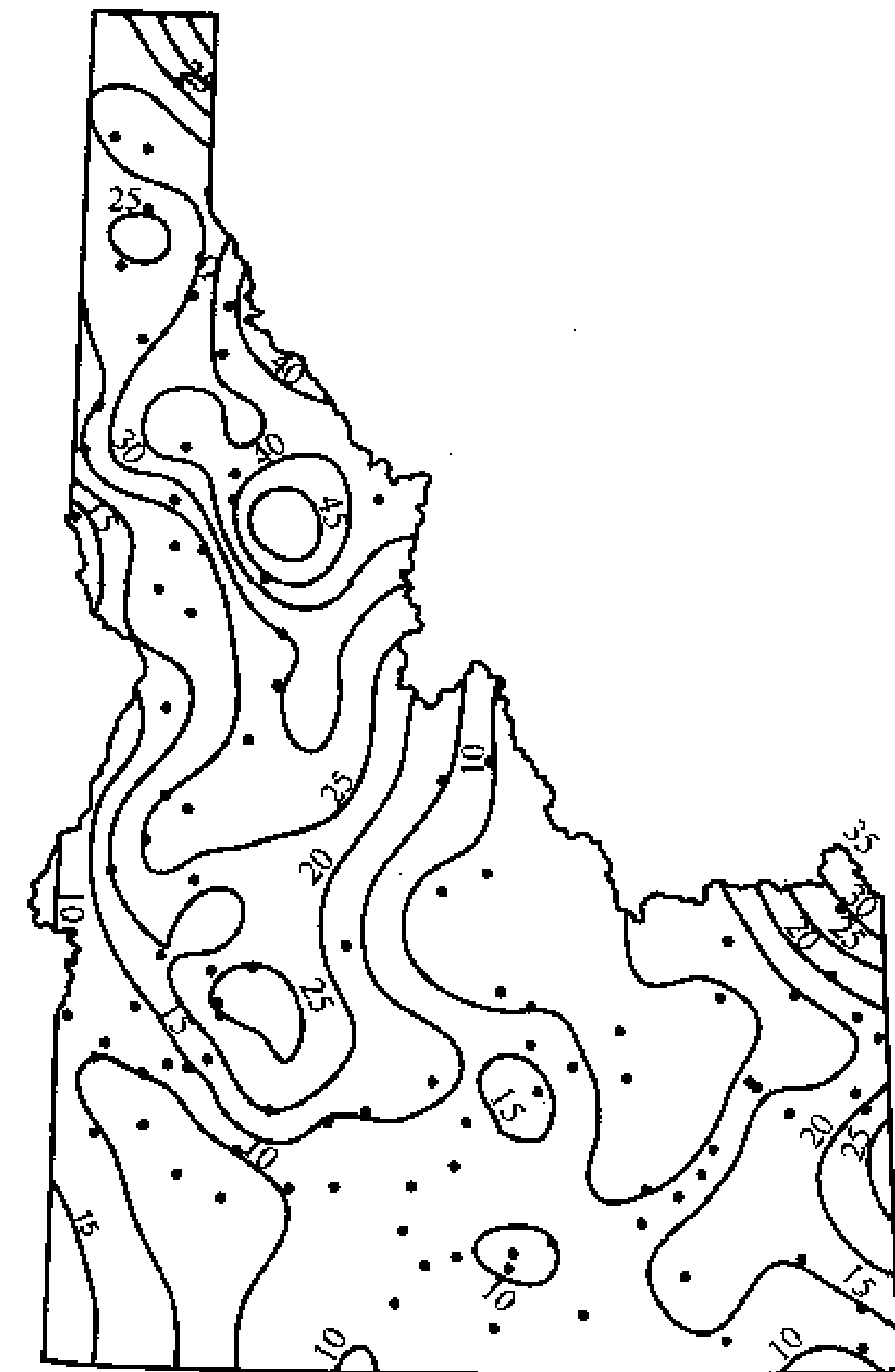


图 13.10 规则样条法生成的等雨量线地图。

规则样条函数的近似值与薄板样条函数有相同的局部趋势函数，但是基本函数取不同形式：

$$\frac{1}{2\pi}\left(\frac{d^2}{4}\left(\ln\left(\frac{d}{2\tau}\right)+c-1\right)+\tau^2\left(K_0\left(\frac{d}{\tau}\right)+c+\ln\left(\frac{d}{2\pi}\right)\right)\right) \tag{13.13}$$

式中：τ 是样条（splines）法中要用到的权重；d 是待定值的点和控制点 i 间的距离；c 是常数 0.577215；$K_0(d/\tau)$是修正的零次贝塞耳（Bessel）函数。它可由一个多项式方程估计（Abramowitz 等 1964）。τ 值通常被设为 0 ～ 0.5 之间，因为更大的 τ 值会导致在数据贫乏地区趋于过伸（overshoots）。ARC/INFO 和 ArcView 采用的默认 τ 值为 0.1。

薄板张力样条（thin-plate splines with tension）法有如下表达形式：

$$a+\sum_{i=1}^{n} A_i R(d_i) \tag{13.14}$$

式中：a 代表趋势函数，基本函数 $R(\mathrm{d})$为

$$-\frac{1}{2\pi\phi^2}\left(\ln\left(\frac{\mathrm{d}\phi}{2}\right)+\mathrm{c}+\mathrm{K}_0(\mathrm{d}\phi)\right) \tag{13.15}$$

式中：ϕ 是本张力法要用到的权重。如果 ϕ 的权重被设为接近于 0，则用张力法与基本薄板

样条法得到的估计值相似。较大的 ϕ 值降低了薄板的刚度，结果插值的值域使得插值成的面与通过控制点的膜状形态相似 (Franke　1985)。ARC/INFO 和 ArcView 采用的默认 ϕ 值为 0.1。

薄板样条函数及其变种被推荐用于平滑和连续的面，如高程面或水位面。样条法也被用于对气候数据(如平均降水量)的插值(Hutchinson　1995)。图 13.10 和图 13.11 分别显示用规则样条函数和张力样条函数两种方法建立的年均降水量面 (注释栏 13.6)。两幅地图中的等雨量线都很平滑，比图 13.9 的等雨量线(用反距离平方插值法建立的)更为平滑。在数据贫乏地区用样条法插值的结果可能会比实际情况偏大，如图 13.10 的北爱达荷 45in 等雨量线所例证的。

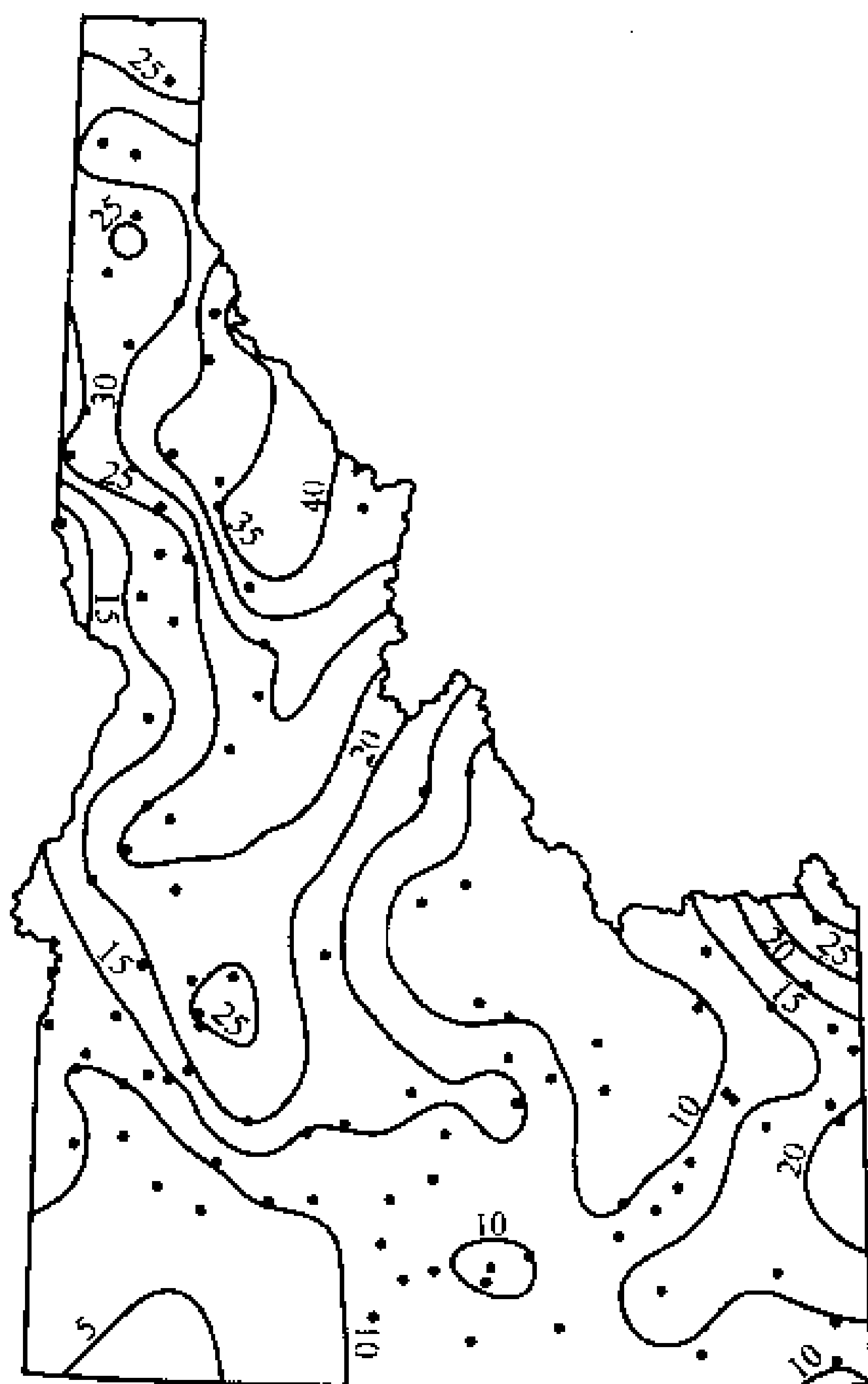


图 13.11　用张力样条法生成的等雨量线地图。

薄板样条函数法的例子

本例用与注释栏 13.2 中相同的数据，由薄板样条函数法来插值生成点 0 处的未知值。本方法首先以估算点与控制点之间的距离、控制点之间的距离和 ϕ 值(0.1)来计算方程 13.15 中的 R(d)，下表显示与距离值相伴随的 R(d)值：

点号	0，1	0，2	0，3	0，4	0，5
距离	18.000	20.880	32.310	36.056	47.202
R(d)	−7.510	−9.879	−16.831	−18.574	−22.834
点号	1，2	1，3	1，4	1，5	2,3
距离	31.240	49.476	34.526	59.666	40.000
R(d)	−16.289	−23.612	−17.879	−26.591	−20.225
点号	2，4	2，5	3，4	3，5	4，5
距离	56.920	62.032	47.412	26.076	40.200
R(d)	−25.843	−27.214	−22.868	−13.415	−20.305

下一步是计算出方程 13.14 中的 A_i，我们可将计算出的 R(d) 值代到方程 13.14 中，并以矩阵形式重写方程和 A_i 的约束条件：

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -16.289 & -23.612 & -17.879 & -26.591 \\ 1 & -16.289 & 0 & -20.225 & -25.843 & -27.214 \\ 1 & -23.612 & -20.225 & 0 & -22.868 & -13.415 \\ 1 & -17.879 & -25.843 & -22.868 & 0 & -20.305 \\ 1 & -26.591 & -27.214 & -13.415 & -20.305 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \\ A_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20.820 \\ 10.910 \\ 10.380 \\ 14.600 \\ 10.560 \\ 0 \end{bmatrix}$$

该矩阵的解为：

$a = 13.203 \quad A_1 = 0.396 \quad A_2 = -0.226$

$A_3 = -0.058 \quad A_4 = -0.047 \quad A_5 = -0.065$

现在我们可以计算点 0 处的值：

$$P_0 = 13.203 + (0.396)(-7.510) - (-0.226)(-9.879) - (-0.058)(-16.831) - (-0.047)(-18.574) - (-0.065)(-22.834) = 15.795$$

张力样条法是本书讨论的薄板样条法之一。用相同的数据集，由其他方法估算得到的 P_0 值如下：

由薄板样条法估算的值为 16.350，而用规则样条法(τ 值为 0.1)估算的值为 15.015。

13.4.5 克里金法

克里金法(Kriging)(由南非采矿工程师 D.G. Krige 创立）是一种用于空间插值的地理统计方法。克里金法的原理是假设某种属性的空间变化(如一个矿体内品位的变化)既不是完全随机也不是完全确定 (Davis 1986，Isaaks 等 1989，Webster 等 1990，

Cressie 1991，Bailey 等 1995)。反之，空间变化可能包括三种影响因素：空间相关因素，代表区域变量的变化；偏移(drift)或结构，代表趋势；还有随机误差。偏移出现与否和对区域变量的解释导致了用于空间插值的不同克里金法的出现。

1. 普通克里金法

假设不存在偏移，**普通克里金**法关注于空间相关因素。衡量所选已知点之间空间相关程度的测度是**半方差**(semivariance)，由下式计算：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n}\sum_{i=1}^{n}(z(x_i) - z(x_i + h))^2 \tag{13.16}$$

式中：h 是已知点之间的距离，常用于作为滞后系数(lag)；n 是被 h 分开的成对样本点的数量；z 是属性值。半方差随着 h 的增大而增大。

在不同距离的半方差值算出后，它们被绘成**半方差图**(semivariogram)，y 轴代表偏差，x 轴代表已知点之间的距离（图 13.12)。半方差可分成三部分：熔核(nugget)、值域(range)和基台(sill)。熔核是在距离为 0 处的半方差，代表无关的空间噪音。值域是半方差的空间相关部分，它显示半方差随着距离递增。超过值域范围，半方差趋平于相对恒定值。达到恒定的半方差称为基台(sill)。

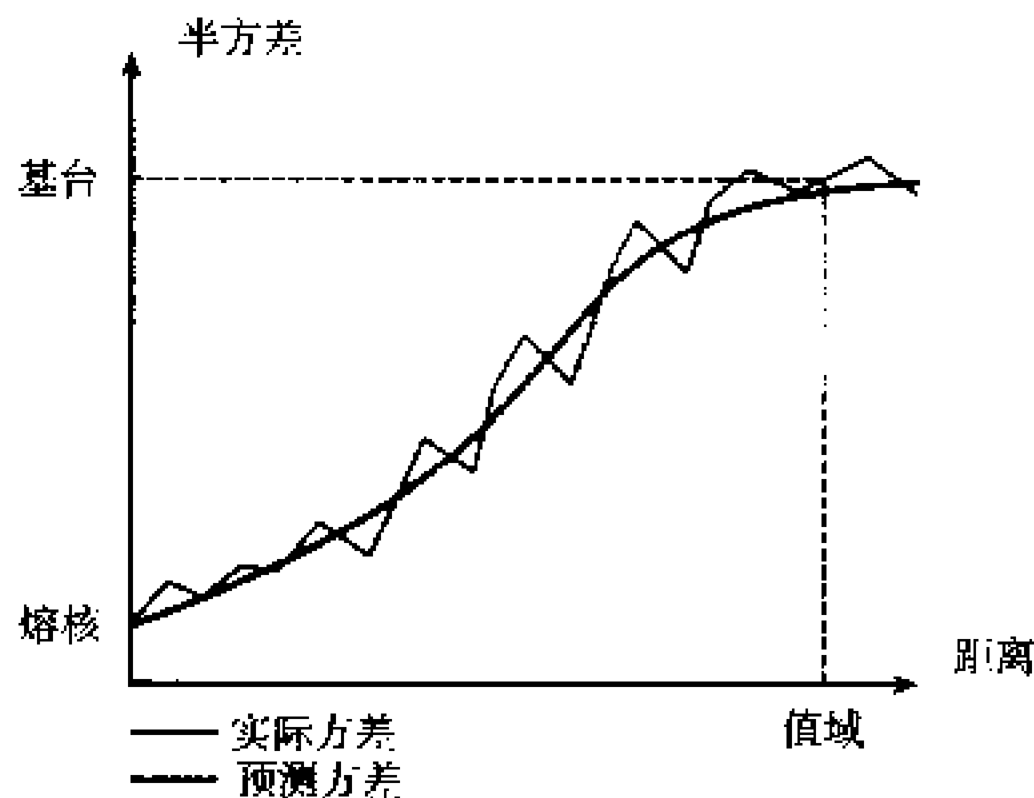


图 13.12 半方差图显示沿 y 轴的半方差和沿 x 轴的距离。

半方差图(semivariogram)将半方差与距离关联起来。它可单独用作空间相关的测度，与空间自相关相似（参见第 11 章)。但在克里金法中用作插值器(interpolator)，半方差图必须与数学函数或模型拟合。例如，ARC/INFO 提供了五种模型：高斯、线性、球面、圆形和指数模型(图 13.13)。拟合的半方差图便可用于估算任何给定距离的半方差。

普通克里金法在空间插值中直接使用拟合半方差图。估算某点的 z 值的通用方程是：

$$z_0 = \sum_{i=1}^{s} z_x W_x \tag{13.17}$$

式中：z_0 是估计值；z_x 是已知点的值；W_x 是与每个已知点关联的权重；s 是用于估算的已知点的数目。权重可由对一组联立方程的求解得到，例如，下列联立方程是由三个已知点估算一个未知点的值所必须的：

$$W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda = \gamma(h_{10})$$
$$W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda = \gamma(h_{20})$$
$$W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda = \gamma(h_{30})$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + 0 = 1.0 \quad (13.18)$$

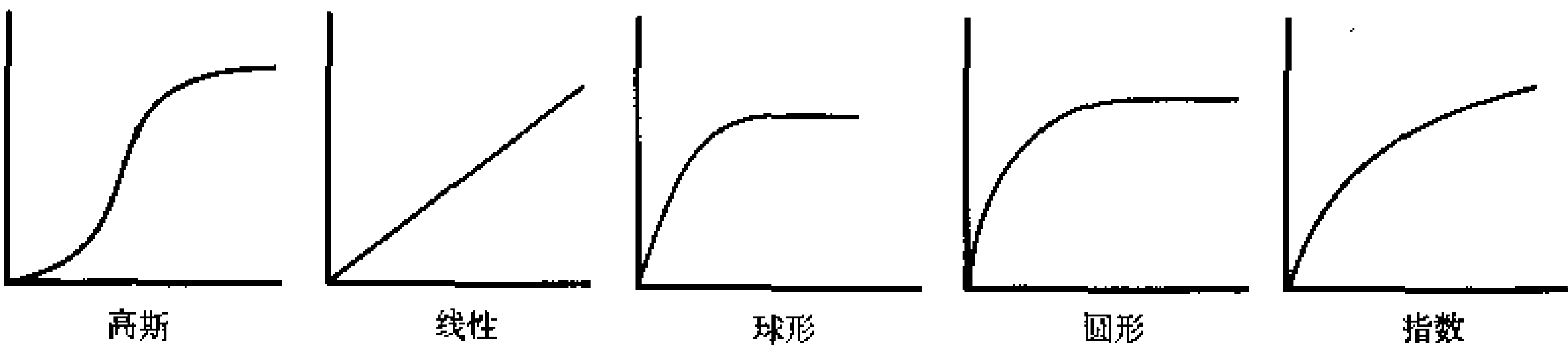


图 13.13 五种拟合半方差图的数学模型：高斯、线性、球形、圆形和指数模型。

式(13.18)中：$\gamma(h_{ij})$是已知点 i 和 j 间的半方差；$\gamma(h_{i0})$是已知点和未知点之间的半方差；λ是拉格朗日系数，它的加入是为了确保把估算误差降到最小。上面的方程可改写成矩阵形式：

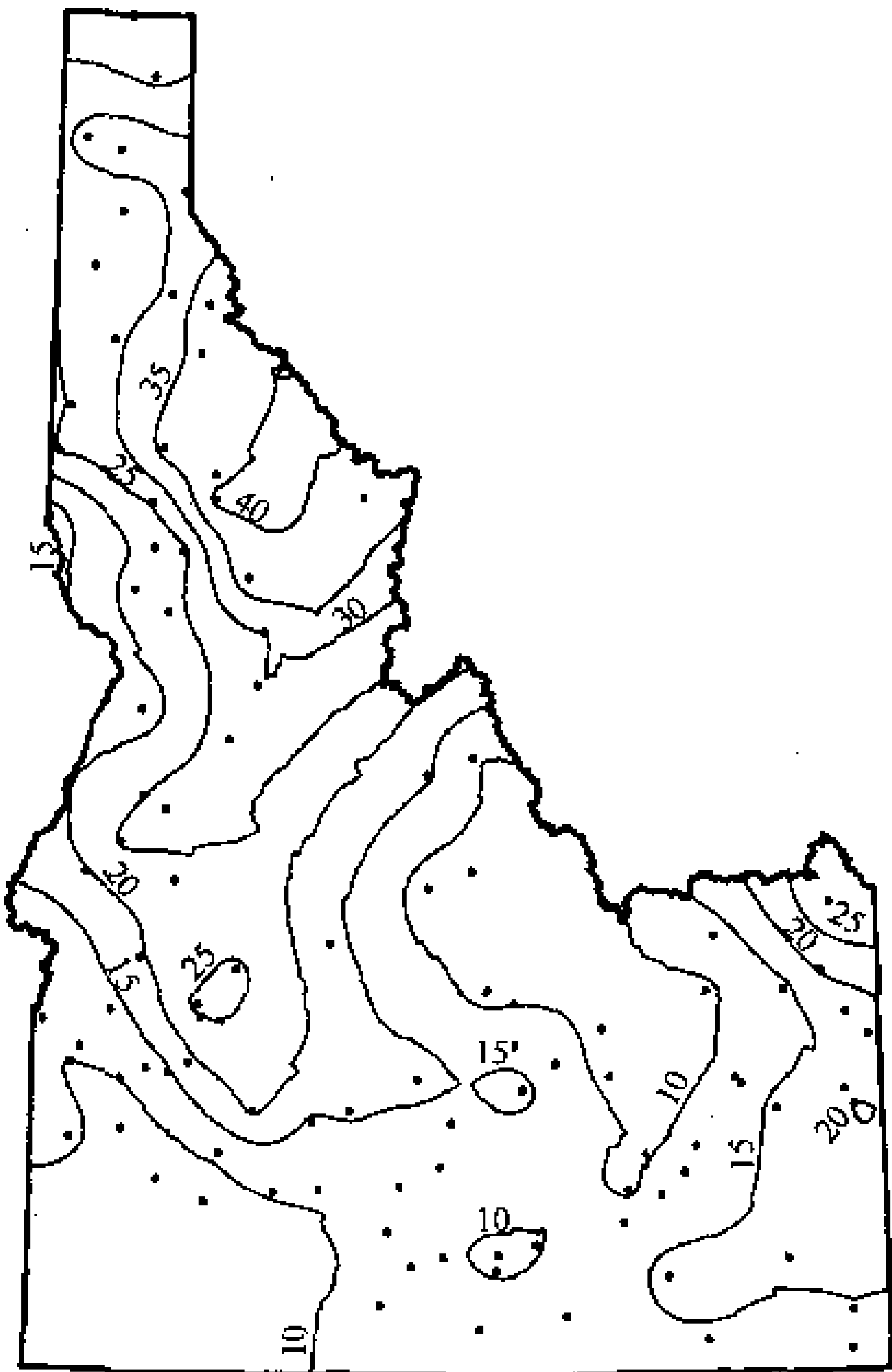


图 13.14 基于线性模型普通克里金法生成的等雨量线地图。

$$\begin{bmatrix}\gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1\\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1\\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1\\ 1 & 1 & 1 & 0\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}W_1\\ W_2\\ W_3\\ \lambda\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\gamma(h_{10})\\ \gamma(h_{20})\\ \gamma(h_{30})\\ 1\end{bmatrix}$$

将左边的逆矩阵乘以右边的矩阵，可解得权重向量。一旦知道了权重，方程(13.17)便可用于估算 z_0：

$$z_0 = z_1W_1 + z_2W_2 + z_3W_3$$

上例表明在克里金法中用的权重不仅包括估算点和已知点之间的半方差，而且包括已知点之间的半方差。这与反距离权重插值法不同，后者只用适用于已知点和估算点的权重。克里金法和其他局部方法之间的另一个重要区别是：克里金法对每个估算点产生一个方差测度来衡量估算值的可靠性。上例中，方差可由下式计算：

$$s^2 = W_1\gamma(h_{10}) + W_2\gamma(h_{20}) + W_3\gamma(h_{30}) + \lambda \tag{13.19}$$

图13.14显示由线性模型普通克里金法(注释栏13.7)生成的年平均降水量曲面。图13.15显示克里金曲面的标准差分布。不出所料，数据贫乏地区的标准差最高，例如，爱达荷州的西南角。

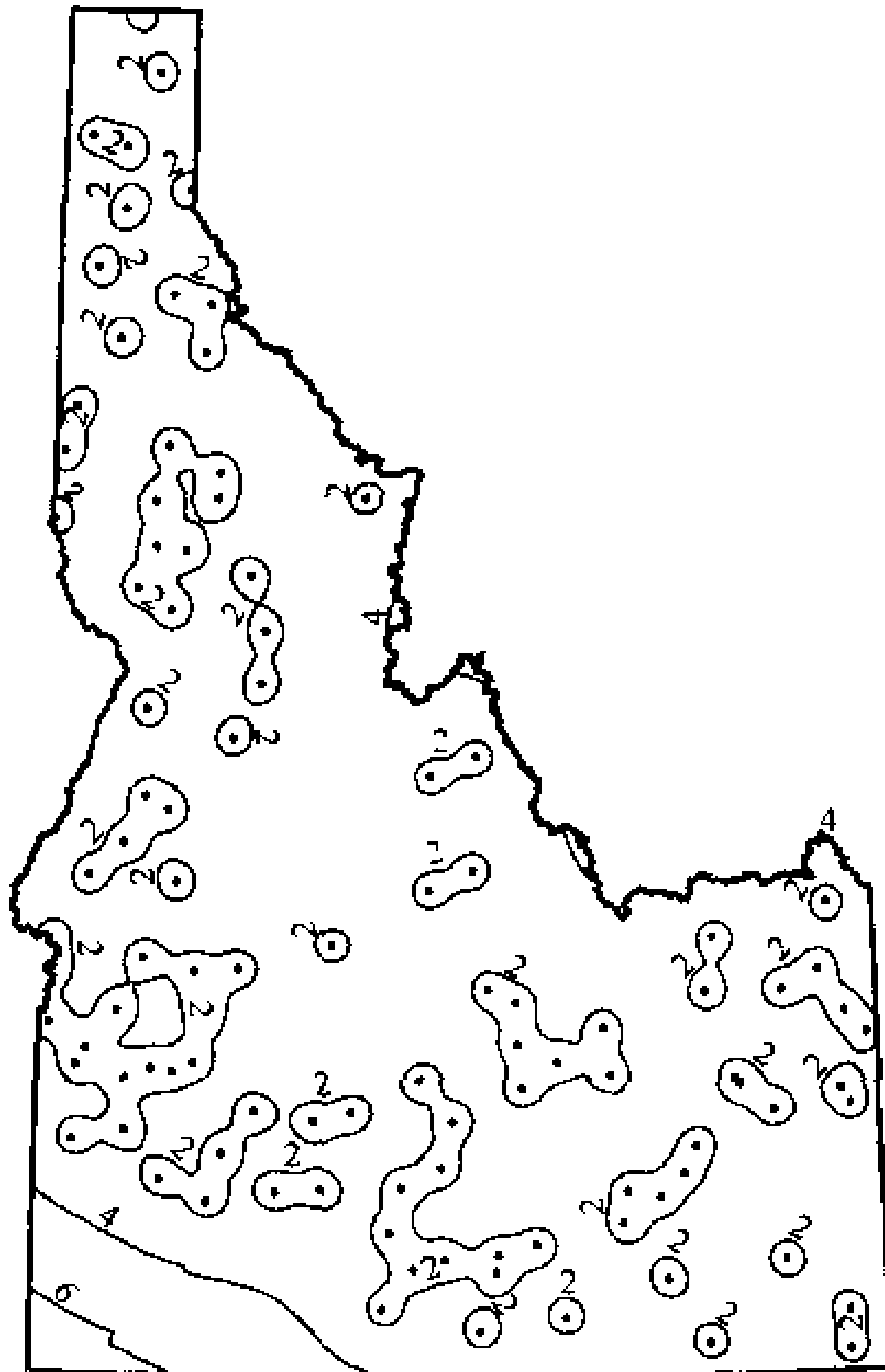


图13.15　本图显示基于线性模型普通克里金法生成的年降水量曲面的标准差。

用普通克里金法估算的例子

本例用普通克里金法进行空间插值。第一个步骤是用爱达荷州的 105 气象站年平均降水量的点数据构建半方差图(图 13.16)。半方差图中的距离间隔以米为单位。下一个步骤是对半方差图适配一种数学函数。本例选择线性模型，该模型定义为：

$$\gamma(h) = C_0 + C(h/a), 0 < h <= a$$
$$\gamma(h) = C_0 + C, h > a$$
$$\gamma(0) = 0$$

式中：$\gamma(h)$是在距离 h 处的半方差；C_0 是在距离 0 处的半方差；a 是值域；C 是 sill，或是在 a 处的半方差。ARC/INFO 的输出结果为：$C_0=0$，$C=112.475$，$a=458\ 000$。

现在我们使用模型进行空间插值。方法与注释栏 13.2 中的相同：用五个已知数值的点估计未知的值。这一步先计算点之间的距离和这些距离的基于线性模型的半方差。结果显示在下表中，距离以千米为单位：

点号(ij)	0，1	0，2	0，3	0，4	0，5
h_{ij}	18.000	20.880	32.310	36.056	47.202
$\gamma(h_{ij})$	4.420	5.128	7.935	8.855	11.592
点号(ij)	1，2	1，3	1，4	1，5	2，3
h_{ij}	31.240	49.476	34.526	59.666	40.000
$\gamma(h_{ij})$	7.672	12.150	8.479	14.653	9.823
点号(ij)	2，4	2，5	3，4	3，5	4，5
h_{ij}	56.920	62.032	47.412	26.076	40.200
$\gamma(h_{ij})$	13.978	15.234	11.643	6.404	9.872

用半方差，我们能以矩阵形式改写联立方程以求出权重：

$$\begin{bmatrix} 0 & 7.672 & 12.150 & 8.479 & 14.653 & 1 \\ 7.672 & 0 & 9.823 & 13.978 & 15.234 & 1 \\ 12.150 & 9.823 & 0 & 11.643 & 6.404 & 1 \\ 8.479 & 13.978 & 11.643 & 0 & 9.872 & 1 \\ 14.653 & 15.234 & 6.404 & 0 & 9.872 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.420 \\ 5.128 \\ 7.935 \\ 8.855 \\ 11.592 \\ 1 \end{bmatrix}$$

该矩阵的解为：

$W_1 = 0.397$ $W_2 = 0.318$ $W_3 = 0.182$

$W_4 = 0.094$ $W_5 = 0.009$ $\lambda = -1.161$

用方程 13.17，我们可由下式估计点 0 的未知值：

$$z_0 = (0.397)(20.820)+(0.318)(10.910)-(0.182)(10.380)+(0.094)(14.600) +(0.009)(10.560) = 15.091$$

我们也可由下式计算点 0 的估计方差：

$$s^2 = (4.420)(0.397) + (5.128)(0.318) + (7.935)(0.182) + (8.855)(0.094) + (11.592)(0.009) - 1.161 = 4.605$$

换言之，在点 0 处估计标准差为 2.146。

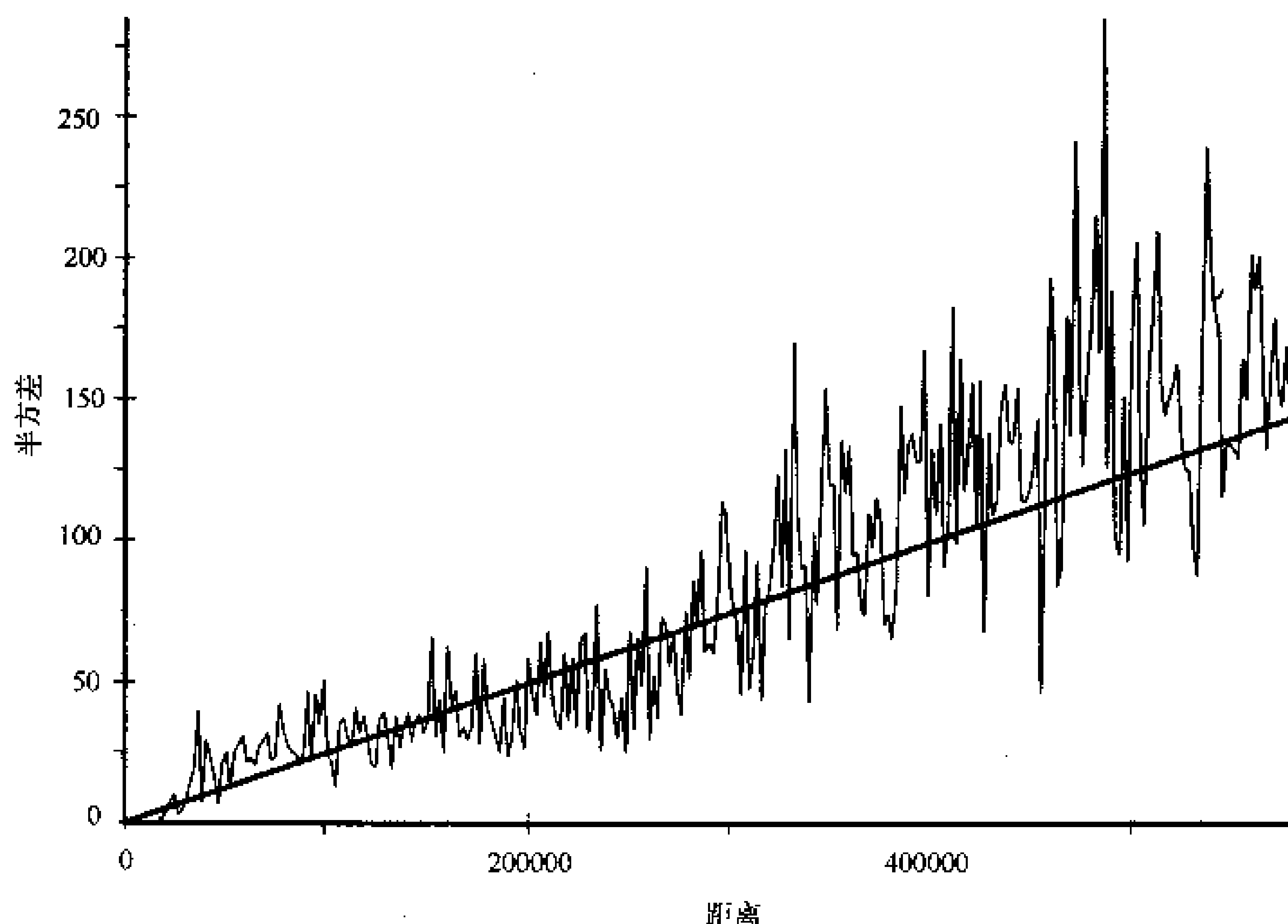


图 13.16　由爱达荷州 105 个气象站点观测的年降水量值构建的半方差图。线性模型提供了趋势线。

2. 通用克里金法

通用克里金法(Universal Kriging)假设除了已知点之间的空间关系外,空间变量在 z 值上还有偏移或有结构因素。一般地说,通用克里金法具体表现为一个趋势,例如,在克里金过程中的一个趋势面方程。ARC/INFO 提供两种通用克里金法。Universal 1 使用一个平面,定义为如下一阶多项式:

$$M = b_1x_i + b_2y_i \tag{13.20}$$

式中:M 是偏移;x_i 和 y_i 是已知点 i 的 x 和 y 坐标;b_1 和 b_2 是要估计的偏移系数 。Universal 2 用二阶曲面,它被定义为一个二阶多项式:

$$M = b_1x_i + b_2y_i + b_3x^2 + b_4x_iy_i + b_5y^2 \tag{13.21}$$

在多项式方程中的系数 b_i 必须按权重估算,这意味着通用克里金法比普通克里金法要求更多的联立方程用于估算未知值。

图 13.17 显示用通用克里金法与线性偏移建立的年均降水量曲面,图 13.18 显示在克里金曲面上标准差的分布(注释栏 13.8)。两幅地图与基于线性模型克里金法建立的地图相似。主要的不同是在爱达荷州西南角出现了负值,这是因为通用克里金模型中线性偏移而导致插值不准的结果。

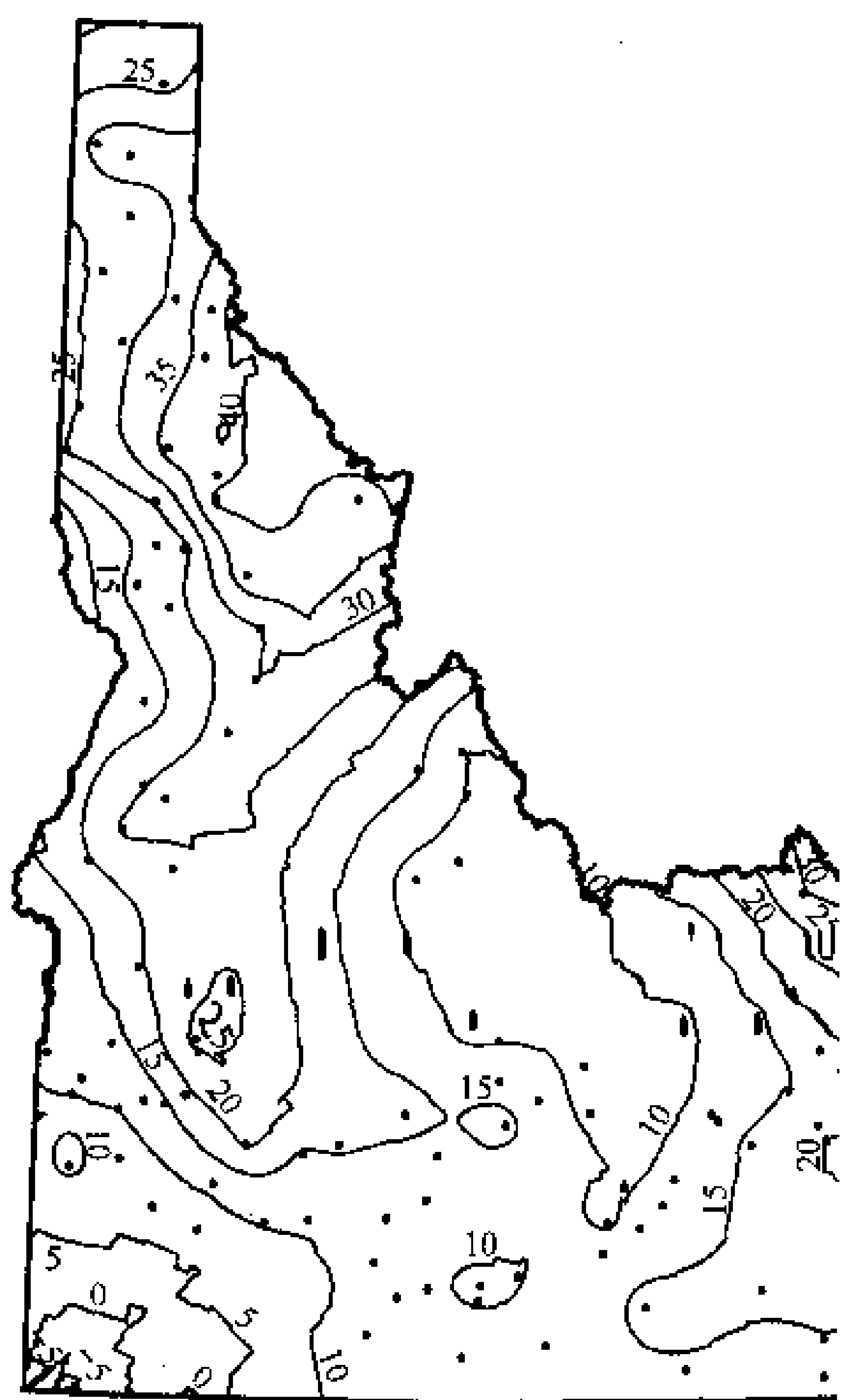


图 13.17 线性偏差通用克里金法生成的等雨量线图。

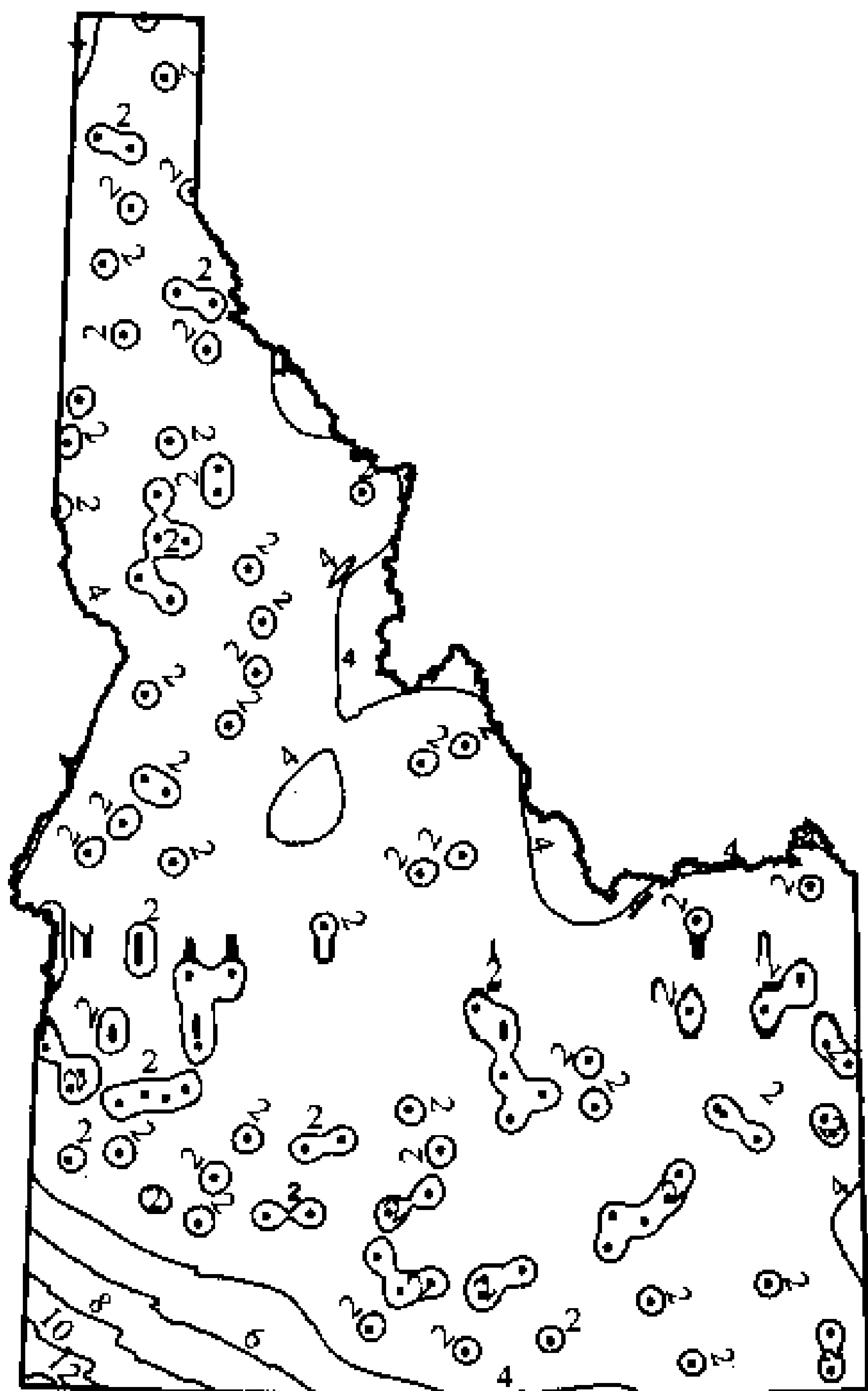


图 13.18 本图显示线性偏差通用克里金法生成的年降水量曲面的标准差。

通用克里金法估算的例子

本例采用通用克里金法估算点 0 的未知值（注释栏 13.2）。假设偏移为线性的，并且半方差图拟合于线性模型。由于附加偏移因素，本例用八个联立方程：

$$W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + W_4\gamma(h_{14}) + W_5\gamma(h_{15}) + \lambda + b_1x_1 + b_2y_1 = \gamma(h_{10})$$

$$W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + W_4\gamma(h_{24}) + W_5\gamma(h_{25}) + \lambda + b_1x_2 + b_2y_2 = \gamma(h_{20})$$

$$W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) + W_4\gamma(h_{34}) + W_5\gamma(h_{35}) + \lambda + b_1x_3 + b_2y_3 = \gamma(h_{30})$$

$$W_1\gamma(h_{41}) + W_2\gamma(h_{42}) + W_3\gamma(h_{43}) + W_4\gamma(h_{44}) + W_5\gamma(h_{45}) + \lambda + b_1x_4 + b_2y_4 = \gamma(h_{40})$$

$$W_1\gamma(h_{51}) + W_2\gamma(h_{52}) + W_3\gamma(h_{53}) + W_4\gamma(h_{54}) + W_5\gamma(h_{55}) + \lambda + b_1x_5 + b_2y_5 = \gamma(h_{50})$$

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + 0 + 0 + 0 = 1$$

$$W_1x_1 + W_2x_2 + W_3x_3 + W_4x_4 + W_5x_5 + 0 + 0 + 0 = x_0$$

$$W_1y_1 + W_2y_2 + W_3y_3 + W_4y_4 + W_5y_5 + 0 + 0 + 0 = y_0$$

通用克里金法估算的例子

这里 x_0 和 y_0 是估算点的 x、y 坐标，x_i 和 y_i 是已知点 i 的 x、y 坐标；其他符号注释同注释栏 13.7。x、y 坐标实际是输出格网中的行和列，格网单元大小为 2000m。

与普通克里金法相似，方程中半方差的值可以从半方差图和线性模型得到。下一步是以矩阵形式重写方程：

$$\begin{bmatrix} 0 & 7.672 & 12.150 & 8.479 & 14.653 & 1 & 69 & 76 \\ 7.672 & 0 & 9.823 & 13.978 & 15.234 & 1 & 59 & 64 \\ 12.150 & 9.823 & 0 & 11.643 & 6.404 & 1 & 75 & 52 \\ 8.479 & 13.978 & 11.643 & 0 & 9.872 & 1 & 86 & 73 \\ 14.635 & 15.234 & 6.404 & 9.872 & 0 & 1 & 88 & 53 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 69 & 59 & 75 & 86 & \text{[illegible]} & \text{[illegible]} & 0 & 0 \\ 76 & 64 & 52 & 73 & \text{[illegible]} & \text{[illegible]} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ \lambda \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.420 \\ 5.128 \\ 7.935 \\ 8.855 \\ 11.592 \\ 1 \\ 69 \\ 67 \end{bmatrix}$$

该矩阵的解为：

$W_1 = 0.387$　$W_2 = 0.311$　$W_3 = 0.188$　$W_4 =$ [illegible]

$W_5 = 0.021$　$\lambda = -1.154$　$b_1 = 0.005$　$b_2 =$ [illegible]

在点 0 处估计值是：

$Z_0 = (0.387)(20.820) + (0.311)(10.91$[illegible]$) - (0.188)($[illegible]$) - (0.093)(14.600) + (0.021)(10.560) = 14.981$

在点 0 处估计方差是：

$s^2 = (4.420)(0.387) + (5.128)(0.311) - (7.935)($[illegible]$.188) + (8.855)(0.093) + (11.592)(0.021) - 1.154 = 4.710$

在点 0 处估计标准差(s)是 2.170。用通用克里金法生成的结果与用普通克里金法生成的结果极为相似。

3. 其他克里金法

除了普通克里金法和通用克里金法，还有其他的克里金法，例如，文献中提到的克里金块内插法(block kriging)和联合克里金法(co-kriging)（Bailey 等　1995，Burrough 等　1998）。克里金块内插法估算某个小范围内或块内(而不是某个点上)的一个变量的平均值，联合克里金法在插值时用一个或更多的次要变量，这些次要变量与主要变量有相关关系。这种方法的原理是：变量之间的相关关系能用于提高主要变量的预测值精度。例如，据报道，用联合克里金法，在降水量插值中，将高程作为一个附加变量会获得更好结果(Martinez-Cob　1996)。

13.4.6　各种局部方法的比较

用相同数据集，不同的局部方法会产生不同的结果。图 13.19 显示规则样条函数和距离倒转平方法两种方法得出不同的年平均降水量估算结果。图 13.20 显示用线性模型普

通克里金法和规则样条函数得出的不同结果。这两幅地图有相似的总体模式，虽然普通克里金法与规则样条函数两种方法间的差异比规则样条函数与倒转距离平方法间的差异更小。这两幅地图最大的差异在于：正负误差多于 3in 的，都位于数据贫乏地区。这说明不管用哪种方法插值，都不能代替观测数据。

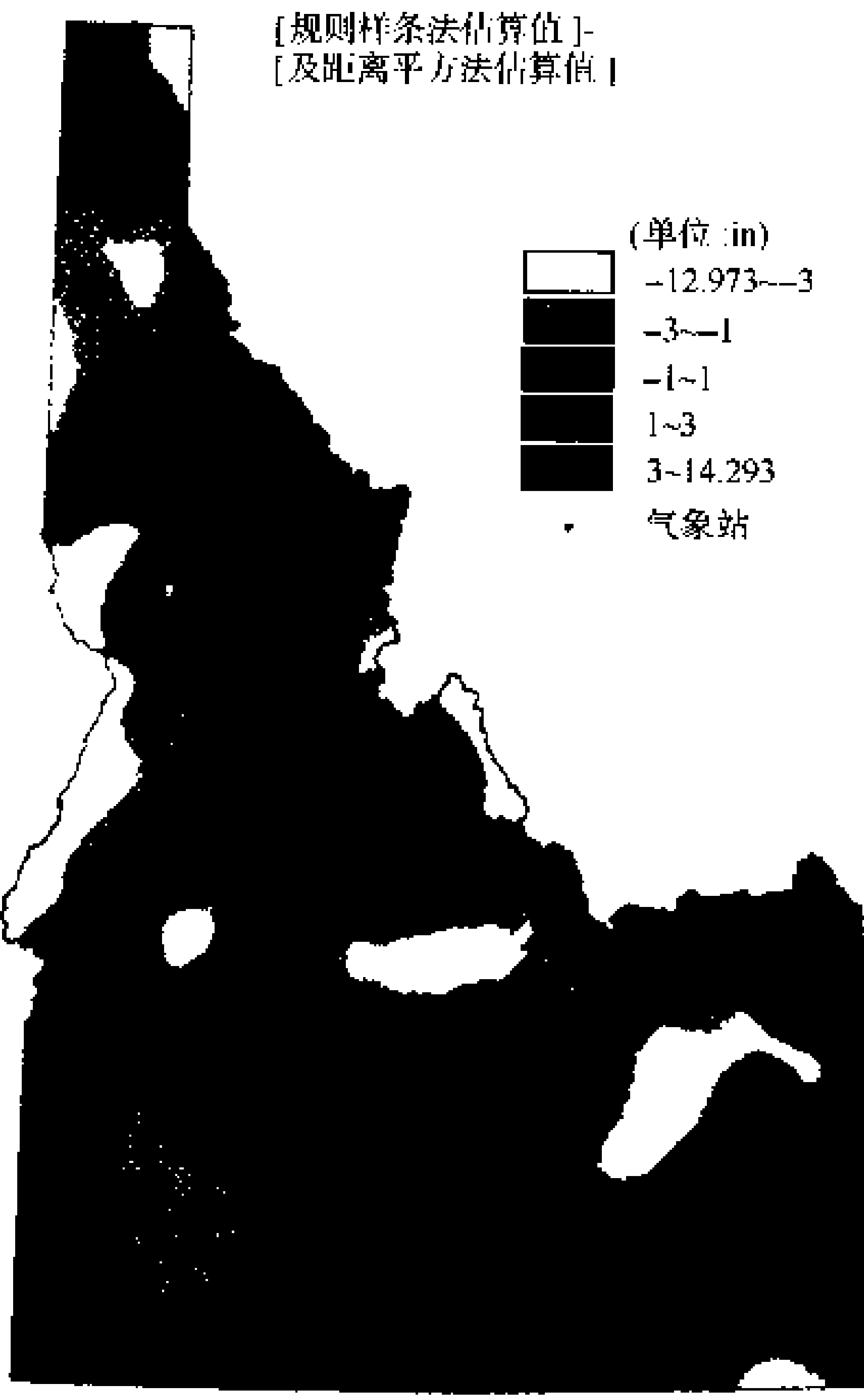


图 13.19 本图显示用规则样条法与反距离平方法生成的曲面之差别。在局部运算中，一个面格网减去另一个面格网生成本图。

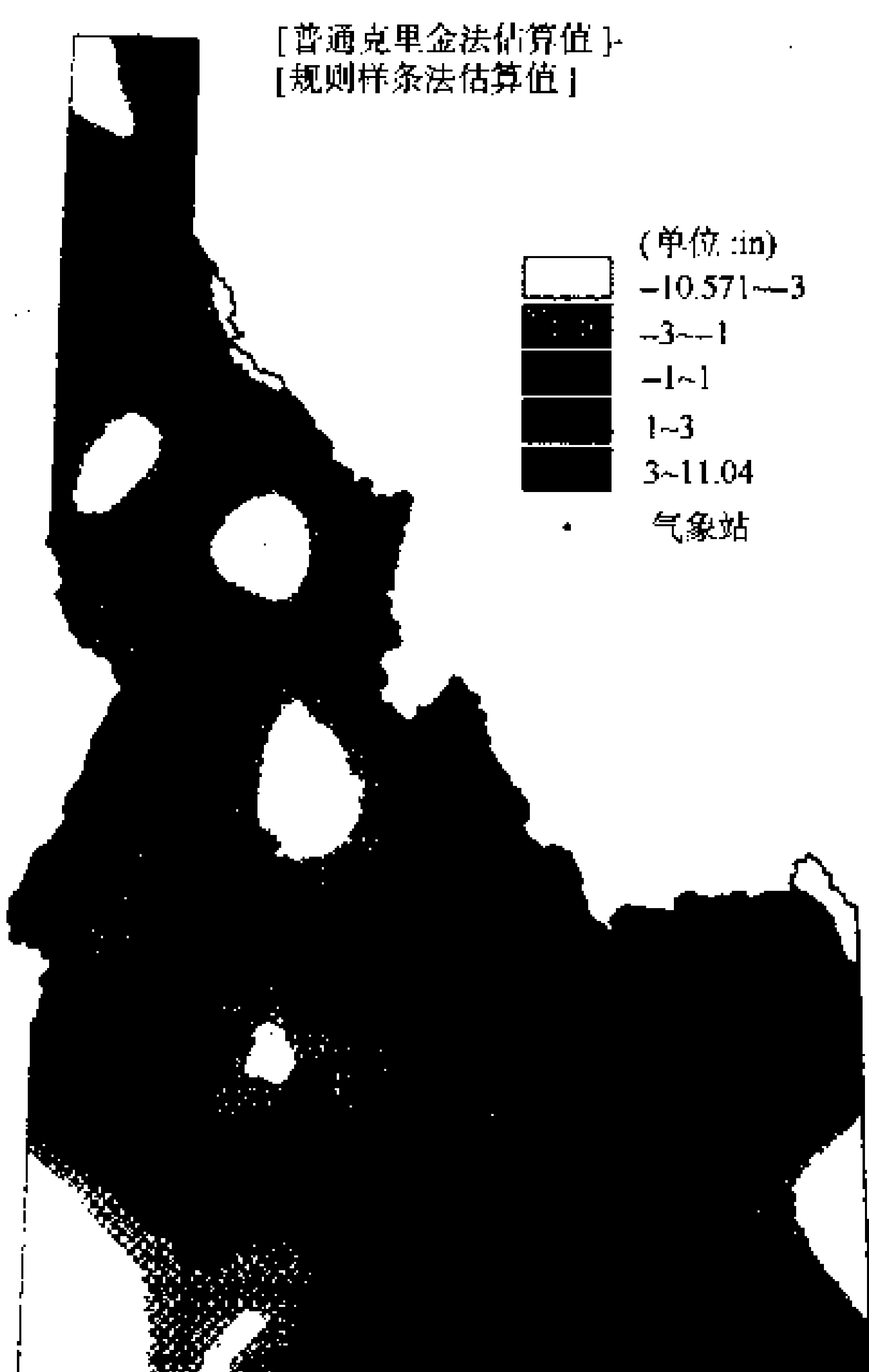


图 13.20 本图显示用线性模型普通克里金法与规则样条法生成的面之差别。

将估算值的差别绘成地图并不能确定哪种插值方法更精确。交叉验证(cross-validation)分析通常用于确定不同插值方法的精度。对每一种插值方法，交叉验证分析重复从已知数值集中删除一个已知点的过程，用剩下的已知点估算被删除点的数值，并计算估算值与已知值的误差。然后计算出误差统计值用于评价插值方法的精度。例如，交叉验证分析表明，在消除高程倾向克里金法(elevation-detrended kriging)或联合克里金法(co-kriging)中用高程作为 x、y 位置的附加变量，产生了比克里金法好的结果(Phillips 等 1992，Garen 等 1994，Carroll 等 1996)。

评定不同插值法精度的另一种方法是将已知点分成两部分样本：一部分样本用于给每种插值方法建模，另一部分样本用于检测各种方法的精度。如果已知点的数目太少，则这种样本分离的方法不适用(Chang 等 2000)。

13.4.7 ARC/INFO 和 ArcView 中的局部方法

本章涉及在 ARC/INFO 中执行局部方法的命令：THIESSEN 命令用于生成泰森多边形，POINTDENSITY 用于密度估算（简单估算和核估算），IDW 命令用于反距离权重插值，SPLINE 命令用于薄板张力样条和规则样条，KRIGING 用于普通克里金法和通用克里金法。这些命令或许将被组合或扩展在 Geostatistical Analyst 中（ARC/INFO 8.1 中的一个菜单驱动扩展模块）。

ArcView 的 Spatial Analyst 扩展模块具有可进入密度估算、反距离权重插值和样条函数（张力样条和规则样条）的菜单。在 ArcView 中可用请求（requests）和 Avenue scripts 程序脚本运行克里金法。应用部分的习作 5 即用 Avenue scripts 程序脚本运行普通克里金法。

重要概念和术语

半方差：在克里金法中用于度量已知点之间空间相关程度的测度。

半方差图：在克里金法中用于表示半方差与已知点之间距离的关系的图解。

薄板样条函数：一种局部插值方法，它建立一个通过各控制点的面，而且使各点的坡度变化尽量达到最小。

薄板张力样条：用于空间插值的薄板样条函数的一种变种。

反距离权重插值：一种局部插值方法，它假定一个点的未知值受其邻近点的影响比远离点的影响更大。

规则样条函数：用于空间插值的薄板样条函数的变种。

核估算：一种局部插值方法，它把每个已知值的点与核函数关联起来，以二变量概率密度函数形式表达。

回归模型：一种全局插值方法，它使用一系列自变量去估算一个因变量。

局部插值方法：一种空间插值方法，它使用控制点的样本来估算未知值。

克里金法：一种局部插值方法，它假定属性的空间变异包含空间相关成分（表示局部变量的变异）。

空间插值：用已知值的点来估算其他点的未知值的过程。

控制点：在空间插值中已知数值的点。

密度估算：一种局部插值方法，该方法基于点的分布和点的数值来量测格网密度。

普通克里金法：一种克里金方法。它假定不存在偏移或倾向，关注于空间相关成分。

趋势面分析：一种全局插值方法，它用已知值的点和多项式方程来拟合一个面。

全局插值方法：该插值方法用所有可利用的控制点来估算未知值。

泰森多边形：一种局部插值方法，它确保在一个多边形内的每个未采样点与该多边形内的已知点更接近，而与任何其他的已知点更远。

通用克里金法：一种克里金法，它假定属性的空间变异除了取样的已知点之间的空

间相关性之外，还有偏移或结构成分。

应用：空间插值

本章应用部分包括五个习作。习作1用 Avenue 程序脚本来运行趋势面分析。习作2到习作5涉及核密度估算、距离倒转权重、样条函数和普通克里金法的局部插值方法。Avenue 程序脚本用于运行普通克里金法。

习作1　用 Avenue Script 程序脚本进行趋势面分析

所需数据：stations.shp，包含爱达荷州105个气象站数据的 shapefile 文件；idoutl.shp，一个显示爱达荷州外轮廓的 shapefile 文件；trend.ave，进行趋势面分析用的 Avenue script 程序脚本。

习作1要求调用 Avenue script 程序脚本，使用 stations.shp 文件中名为 ann_prec 的属性表，运行趋势面分析。Ann_prec 是自1961～1990年的年平均降水量。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图，把 stations.shp 和 idoutl.shp 加到视图中。从 View 下拉菜单选择 Properties，并设地图单位为 m。
2. 在 Project 窗口中点击 Scripts 和 New 打开 Script 1。在 Script 菜单中点击 Load Text File (加载文本文件)按钮。浏览 trend.ave 的路径并双击它。本步骤把 trend.ave 复制到 Script 1。
3. 为了使用 Avenue script 程序脚本，你首先必须点击 Compile(编译)按钮对脚本进行编译。因为 trend.ave 规定窗口文件为激活的文件，你必须激活窗口文件并在 Script 1 中点击 Run 按钮来运行该程序脚本。
4. Trend.ave 使用 Analysis Properties 对话框来设置分析环境。在该对话框中，设定 Analysis Extent (分析范围)为 Same as idoutl.shp(与 idoutl.shp 相同)，设定 Analysis Cell Size(分析单元大小)为 As Specified Below(指定如下)，并键入2000(m)作为单元大小。点击 OK。
5. Grid 1 是基于三阶多项式方程的趋势面分析输出格网。等高线法可能是用于绘制一个面的最常用方法。从 Surface 菜单选择 Create Contours(创建等高线)。在等高线参数对话框中设置5为等高距和10为基准等高线，点击 OK。
6. 把 Contour of Grid 1 加到视图中并激活它。从 Theme 菜单中选择 Auto-label(自动标注)。在 Auto-label 对话框中选择 Contour(等高线)作为 Label field(标注字段)，并点击 OK。至此你会看到更好的带有等雨量值的插值面。
7. Grid 1 和 Contour of Grid 1 都包括超出爱达荷州的地区。为了让插值结果和等高线限制在爱达荷州范围内，你需要使用一个分析屏蔽掩膜。习作3将示明如何设立一个分析屏蔽掩膜。

习作2　核密度估算

所需数据：deer.shp，一个显示鹿点的点状 shapefile 文件。

习作2用核估算法依据 deer.shp 计算每公顷看到的鹿的平均数目。鹿点的数据具有50m最小分辨距离，因此，有些点多次看到。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst。打开一个新视图并把 deer.shp 加到视图中。从 View 下拉菜单中选择 Properties，并指定地图单位为米。
2. 激活 *deer.shp* 并打开其属性表。该字段计数显示在某个点的所见数目。你可用渐变符号显示鹿的看到次数。在目录表中双击 deer.shp 以打开图例编辑器。选择 Graduate Symbol（渐变符号）为 Legend Type（图例类型），并选择 Count（计数）为 Classification Field（分类字段）。点击应用。渐变符号显示从1～15的观测数目。
3. 从 Analysis 菜单中选择 Calculate Density（计算密度）。在 Output Grid Specification（输出格网规范）对话框中选择 Same As Deer.shp（与 Deer.shp 同）作为输出格网范围，并键入100（m）作为 CellSize（单元大小）。点击 OK。在 Calculate Density（计算密度）对话框中选择 Count 为 Population Field，键入100（m）作为 Search Radius（搜索半径）。选择 Kernel（核）作为 Density Type（密度类型），并选择公顷作为面积单位，点击 OK。Density from Deer 现在加到了目录表中。为了使该图面更简洁，打开其图例编辑器，把类型数改为4，并键入类型间距为0、0～10、10～20和20～24。

习作3　用 IDW 进行空间插值

所需数据：stations.shp 和 idoutl.shp，与习作1相同的 shapefiles。

本习作包括三个步骤：首先，将 idoutl.shp 转化成格网 idoutlgd；其次，用反距离权重法并以 idoutlgd 作为屏蔽掩膜格网，创建降水量格网；第三，从降水量格网生成等值线图。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst。打开一个新视图并把 stations.shp 和 idoutl.shp 加到视图中。从 View 下拉菜单中选择 Properties 并设定地图单位为米。
2. 激活 stations.shp 并打开其属性表，看到其中有一个属性是 ann_prec，它是用于空间插值的 z 值。
3. 激活 idoutl.shp。从 Theme 下拉菜单中选择 Convert to Grid。将输出格网命名为 *idoutlgd*。在 *Conversion Extent* 对话框中，选择 *Same As Idoutl.shp* 作为 Output Grid Extent，并输入2000（m）作为 Output Grid Cell Size，点击 OK。在 Conversion Field 对话框中，选择 Idoutl_id 作为单元值并点击 OK。你不要把要素属性加到 idoutlgd，但你必须把 idoutlgd 加到视图中。Idoutlgd 只有二种单元值，在爱达荷州范围内取值1，而超出该范围的则为无数据。
4. 下一步使用 idoutlgd 作为分析屏蔽掩膜图。从 Analysis 菜单中选择 Properties，

在 Analysis Properties 对话框中，选择 Same As Idoutlgd 作为 Analysis Extent，As Specified Below 作为 Analysis Cell Size。键入 2000（m）作为单元大小，选择 idoutlgd 作为 Analysis Mask，并点击 OK。

5. 现在你可以由 stations.shp 插值成一个面。激活 stations.shp 并从 Surface 菜单中选择 Interpolate Grid。在 Interpolate Surface 对话框中，选择 IDW 作为 Method 并选择 ann prec 作为 Z Value Field。Nearest Neighbor（最近邻）和 Fixed Radius（确定的半径）是选择控制点的两种方法。Nearest Neighbor 法用接近于待估算单元的指定数量的控制点。Fixed Radius 法用指定的半径选择控制点。本习作选择 Nearest Neighbor 法和默认近邻数为 12。选用默认幂 2，即反距离平方法。Barriers（障碍）是限制待估算单元一侧的控制点选择的线性要素。采用默认值 no barriers。点击 OK 开始运行插值。
6. 名为 Surface from Stations 的输出格网被加到目录表中。把该输出格网加到视图中。该格网是由 idoutlgd 的地图范围定义的矩形。在州界内的单元含有属性值，而落在州界外的单元没有数值。注意面的 z 值变化范围为 7.149～41.449（in）。
7. 激活经插值的面。从 Surface 菜单中选择 Create Contours。在 Contour Parameters 对话框中，键入 5 作为等高距，10 作为基准等高线。点击 OK。
8. 把新创建的等高线专题加到视图中。等高线这一术语通常用在高程面中。描述降水量等值线的恰当术语是等雨量线。为了看到等雨量的值，你可以从 Theme 菜单中选择 Auto-label。

习作 4　两种薄板样条函数法的比较

所需数据：习作 3 的 stations.shp 和 idoutlgd。

习作 4 对两种薄板样条函数法产生的结果作比较，这两种方法均为 ArcView 菜单可提供的。本习作有三个部分：① 用规则样条法创建插值格网。② 用薄板张力样条法创建插值格网。③ 用局部运算比较这两种格网。你可看出两种插值方法产生的不同结果。

1. 启动 ArcView，加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图，并把 stations.shp 和 idoutlgd 加到视图中。从 View 下拉菜单中选择 Properties，将地图单位设为米。
2. 首先设置分析工具。从 Analysis 菜单中选择 Properties。在 Analysis Properties 对话框中，Analysis Extent 栏选 Same As Idoutlgd，Analysis Cell Size 栏选 As Specified Below。Cell Size 栏键入 2000(m)，选择 idoutlgd 作为 Analysis Mask，点击 OK。
3. 现在用规则样条方法创建插值格网，在目录表中激活 stations.shp。从 Surface 菜单中选择 Interpolate Grid。在 Interpolate Surface 对话框中，Method 栏选 Spline，Z Value Field 选 ann prec，Type 选 Regularized。点击 OK，运行规则薄板样条插值。
4. 在目录表中对 *Surface from Stations* 的复选框打钩，查看输出格网。激活该输出

格网，从 Theme 菜单中选择 Properties，将本输出格网重新命名为 Regularized。

5. 下一步用张力薄板样条法创建插值格网。激活 stations.shp，从 Surface 菜单中选择 Interpolate Grid。在 Interpolate Surface 对话框中，Method 栏选 Spline，Z Value Field 栏选 ann_prec，Type 栏选 Tension 。点击 OK，运行张力薄板样条插值.
6. 查看输出的格网并重命名为 Tension。
7. 习作4的最后一部分是比较 Regularized 和 Tension 这两种格网。从 Analysis 菜单中选择 Map Calculator。在 Map Calculator 表达式方框中输入下列语句：([Regularized] - [Tension])。点击 Evaluate。
8. 名为 Map Calculation 1 的输出结果显示 Regularized 和 Tension 之间单元数值的不同。为了更好比较这两种格网，可用一种新的图例。激活 Map Calculation 1 并打开其图例编辑器。在 Legend Editor 对话框中，点击 Classify 并把类型数变为4。接着把四个类型数值改为 −20～−3、−3～0、0～3 和 3～29。加亮显示的单元为在两个方向绝对值大于3的不同数值。把 Color Ramp（颜色渐变方案）改为蓝至红二色。点击 Apply。
9. 在 Map Calculation 1 中大于3的不同数值的单元都处于爱达荷州内的数据贫乏地区。你可详细检查 Regularized 和 Tension 单元的值。激活 stations.shp，Regularized 和 Tension。放大爱达荷州的一个小地区。点击 Identify 工具，并点击地图上某个点。Identify Results 对话框包括三个专题，通过加亮显示每个专题，你可读出估算值（单元值）和最近气象站的已知值。如果你点击的地点接近某个气象站，这三个数值应该彼此相近。

习作5 用 Avenue Script 程序脚本进行普通克里金法插值

所需数据：习作3中的 stations.shp 和 idoutlgd；kriging.ave，运行克里金法的 Avenue script 程序脚本。

习作5要求用线性模型的 kriging.ave 运行普通克里金法。克里金法是一个复杂的专题，在对要插值的数据选择适当模型时需要专业知识。本习作设计旨在说明 ArcView 中运行克里金法的步骤。

1. 启动 ArcView，加载 Spatial Analyst。打开一个新视图，把 stations.shp 和 idoutlgd 加入视图。从 View 下拉菜单中选择 Properties，设置地图单位为米。
2. 点击 Scripts 和 New，弹出 Script 1。点击 Load Text File 选项，浏览 kriging.ave 的路径并双击它。本步骤将 kriging.ave 复制到 Script 1。阅读 kriging.ave 上部的信息。如果你需要改变插值生成的格网路径或删除它，可在此操作。准备完毕，点击 Compile 按钮，激活视图文档（在 kriging.ave 中的激活文档），并在 Script 1 中点击 Run 按钮。
3. Kriging.ave 用 Analysis Properties 对话框来设置分析的环境（变量）。在对话框中，Analysis Extent 和 Analysis Cell Size 的设置为 same as idoutlgd，再选择

idoutlgd 作为 Analysis Mask，点击 OK。

4. Kriging. ave 生成两个格网（grid 1 和 vargrid）并置于目录表中，对格网旁的复选框打钩来查看。Vargrid 是估算的离差格网。要将其改变成估算的标准差格网，从 Analysis 菜单中选择 Map Calculator 并在表达式方框中备好下列语句：（[vargrid]. Sqrt）。该语句用 vargrid 的平方根创建标准差格网。Sqrt 是 Map Calculator 对话框中的幂函数。点击 Evaluate。Map Calculation 1 是估算的标准差格网。
5. 若想用等高线图来表示克里金面和估算的标准差面，从 Surface 菜单中选择 Create Contours，以 5 为等高距、10 为基准等高线生成地图 grid 1，用 2 为等高距和 0 为基准等高线生成 Calculation 1。这两幅等高线地图应该分别与本章的图 13.14 和图 13.15 相同。

参考文献

Abramowitz, M., and I. A. Stegun. 1964. *Handbook of Mathematical Functions*. New York: Dover.

Bailey, T. C., and A. C. Gatrell. 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow, England: Longman Scientific & Technical.

Burrough, P. A., and R. A. McDonnell. 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.

Carroll, S. S., and N. Cressie. 1996. A Comparison of Geostatistical Methodologies Used to Estimate Snow Water Equivalent. *Water Resources Bulletin* 32: 267—278.

Chang, K., and Z. Li. 2000. Modeling Snow Accumulation with a Geographic Information System. *International Journal of Geographical Information Science* 14: 693—707.

Cressie, N. 1991. *Statistics for Spatial Data*. Chichester, NY: John Wiley & Sons.

Davis, J. C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. 2d ed. New York: John Wiley & Sons.

Franke, R. 1982. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate Splines. *Computers and Mathematics with Applications* 8: 273—281.

Franke, R. 1985. Thin Plate Spline with Tension. *Computer Aided Geometrical Design* 2: 87—95.

Garen, D. C., G. L. Johnson, and C. J. Hanson. 1994. Mean Areal Precipitation for Daily Hydrologic Modeling in Mountainous Regions. *Water Resources Bulletin* 30: 481—491.

Hutchinson, M. F. 1995. Interpolating Mean Rainfall Using Thin Plate Smoothing Splines. *International Journal of Geographical Information Systems* 9: 385—403.

Issaks, E. H., and R. M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford: Oxford University Press.

Martinez-Cob, A. 1996. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal of Hydrology* 174: 19—35.

Middleton, G. V. 2000. *Data Analysis in the Earth Sciences Using Matlab*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Mitas, L., and H. Mitasova. 1988. General Variational Approach to the Interpolation Problem. *Computers and Mathematics with Applications* 16: 983—992.

Mitasova, H., and L. Mitas. 1993. Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation. *Mathematical Geology* 25: 641—655.

Monmonier, M. S. 1982. *Computer-Assisted Cartography: Principles and Prospects*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Phillips, D. L., J. Dolph, and D. Marks. 1992. A Comparison of Geostatistical Procedures for Spatial Analysis of Precipitation in Mountainous Terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* 58: 119—141.

Robinson, A. H., J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, and S. C. Guptill. 1995. *Elements of Cartography*. 6th ed. New York: John Wiley & Sons.

Scott, D. W. 1992. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. New York: John Wiley & Sons.

Silverman, B. W. 1986. *Density Estimation*. London: Chapman and Hall.

Tabios, G. Q., III, and J. D. Salas. 1985. A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Interpolation of Precipitation. *Water Resources Bulletin* 21: 365—380.

Watson, D. F. 1992. *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. Oxford: Pergamon Press.

Webster, R., and M. A. Oliver. 1990. *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford: Oxford University Press.

第14章 地理信息系统模型与建模

14.1 引 言

前面几章介绍了探查、处理和分析矢量数据与栅格数据的基本工具。这些工具的众多用途之一是建立模型。模型是什么呢？**模型**是一种现象或一个系统的简化表示。本书已述及了几种模型。USGS的标准图幅是一种模型，表示空间要素的矢量和栅格数据模型与表示数据库系统的关系数据库模型也都是模型。由于模型保留了事物的重要特性或关系，能帮助我们更好地理解一种现象或一个系统。

本章讨论GIS建模。这里把**GIS建模**定义为GIS在以空间数据建立模型过程中的应用。这个定义中有两点是重要的。第一，因为GIS使用地理参照数据，强调空间数据模型或空间显示模型(*spatially explicit models*)；第二，强调GIS在建模中而非在模型中的应用。建模的基本要求是建模者的兴趣和对被模拟系统的了解(Hardisty等 1993)。这就是许多模型为学科所特有的原因。例如，环境模型通常分为大气、水文、地表/地下和生态模型。对于一本GIS书籍，介绍各学科专用模型显然不太可能。

本章分为五个部分。第一部分讨论GIS建模的特征；第二至第五部分分别述及二值模型、指数模型、回归模型和过程模型。尽管这些模型在复杂性程度上各不相同，但这四种模型有两个共同要素：一组选定空间变量和变量之间的函数或数学关系。

14.2 地理信息系统建模

GIS能以若干方式支持建模过程。首先，GIS是一种工具，它能综合不同数据源，包括地图、DEM、GPS数据、图像和表格。这些数据来源可在一起显示和动态链接。因此，GIS用于模拟诸如探索性数据分析、数据可视化和数据库管理等有关任务是很有用的。

其次，用GIS建立的模型可以是基于矢量或基于栅格的。其选择取决于模型的本质、数据源和算法。如果要模拟的空间现象随空间连续变化(比如，土壤侵蚀和积雪)，首选基于栅格的模型。如果输入数据的主体是卫星影像和DEM，或当建模涉及高强度的和复杂的计算，首选也是基于栅格的模型。但是，基于栅格的模型不推荐用于旅游查询的研究，因为旅游查询的模拟要求使用基于拓扑关系的路网。基于矢量的模型一般推荐用于涉及位置和形状定义良好的空间现象。

第三，基于栅格和基于矢量的模型的差别并不排除GIS用户在建模过程中对两类数据的综合。多数GIS软件中都有矢量和栅格数据相互转换的算法。至于在分析中采用何种数据格式，应该基于效率和预期结果，而不受限于原始数据格式。例如，如果基于矢量模型要求输出一张降水量图，从已知点数据很容易通过空间插值制备一个降水量格网，然后从格网生成一幅显示降水分区的地图。

第四,GIS 建模可以 GIS 中进行,或者需要 GIS 与其他计算机程序的链接。包括 ARC/INFO、ArcView、GRASS、Idrisi、SPANS、ILWIS、Vertical Mapper 和 MFworks 在内的许多 GIS 软件都有用于建模的广泛的分析功能。ArcView 甚至有名为 ModelBuilder 的扩展模块支持用户建立基于栅格的模型。但是,GIS 软件不能像统计分析软件那样提供统计分析,或有效地执行动态模拟。

把 GIS 链接到其他计算机程序,有三种情形(Corwin 等　1997)。GIS 用户在建模过程中可能三种都会遇到,这取决于要完成的任务。

松散联结涉及数据文件在 GIS 与其他程序之间的传递:在一个统计分析软件包中运行的数据是从 GIS 导出的,来自统计分析的结果又导入 GIS 作可视化或显示。在这种情形下,GIS 用户必须创建和操作要导出或导入的数据文件,除非在 GIS 和目标计算机程序之间已经建立了界面。S-PLUS for ArcView 是这种界面的一个例子,它使 GIS 用户能把来自 ArcView 的表格数据移到 S-PLUS,然后把图形和分析结果送回到 ArcView。**紧密联结**提供了 GIS 和其他程序的共同用户界面。例如,GIS 有一个菜单选项用来运行一个程序,该程序以薄板样条(thin-plate splines)法作空间插值,而这个程序是驻存在 GIS 之外的。**植入系统**是用共享存储器和共同界面把 GIS 与其他程序捆绑在一起。例如,GIS 可能有运行各种空间插值程序的菜单选项,这些程序成为该 GIS 软件包的组件。

[illegible]	**查询或地图叠加**

GIS 用户常可在空间查询和地图叠加之间做出选择来解决简单的分析任务,尤其是那些涉及点和线要素的任务。假设一个环境强制机构发现了一些监控水井的硝酸盐读数偏高,需要通知距污染水井 10mi 范围内的私人井主。至少有两种方法可完成此项任务。第一种方法包含两个步骤:用 10mi 距离对污染水井作建立缓冲区运算,然后将私人水井的图层与缓冲带的图层进行叠加。第二种方法也有两个步骤:围绕污染水井以 10mi 半径画圆,然后查询落在该圆圈之内的私人水井。第二种方法用空间查询,完全跳过建立缓冲和地图叠加的操作。

14.3　二值模型

二值模型用逻辑表达式从组合地图和多个格网中选择地图要素。二值模型的输出结果也是二值格式:1(为真)表示满足逻辑表达式的地图要素,0(为假)则表示不满足逻辑表达式的地图要素。二值模型可视为数据或地图查询的扩展。

在建立基于矢量的二值模型之前,必须完成地图叠加,把用于逻辑表达式中的属性(变量)组合到同一个属性表中(图 14.1)。另一方面,基于栅格的二值模型,可由多格网查询直接导出,每个格网代表一个选定的变量(图 14.2)。

二值模型常用于定点分析,分析是以对应于点位指标的各自逻辑表达式进行的。假设县政府想以下列指标选择潜在工业用地:

(1) 面积至少 5acre;

(2) 商业地带;

(3) 闲置或待售;

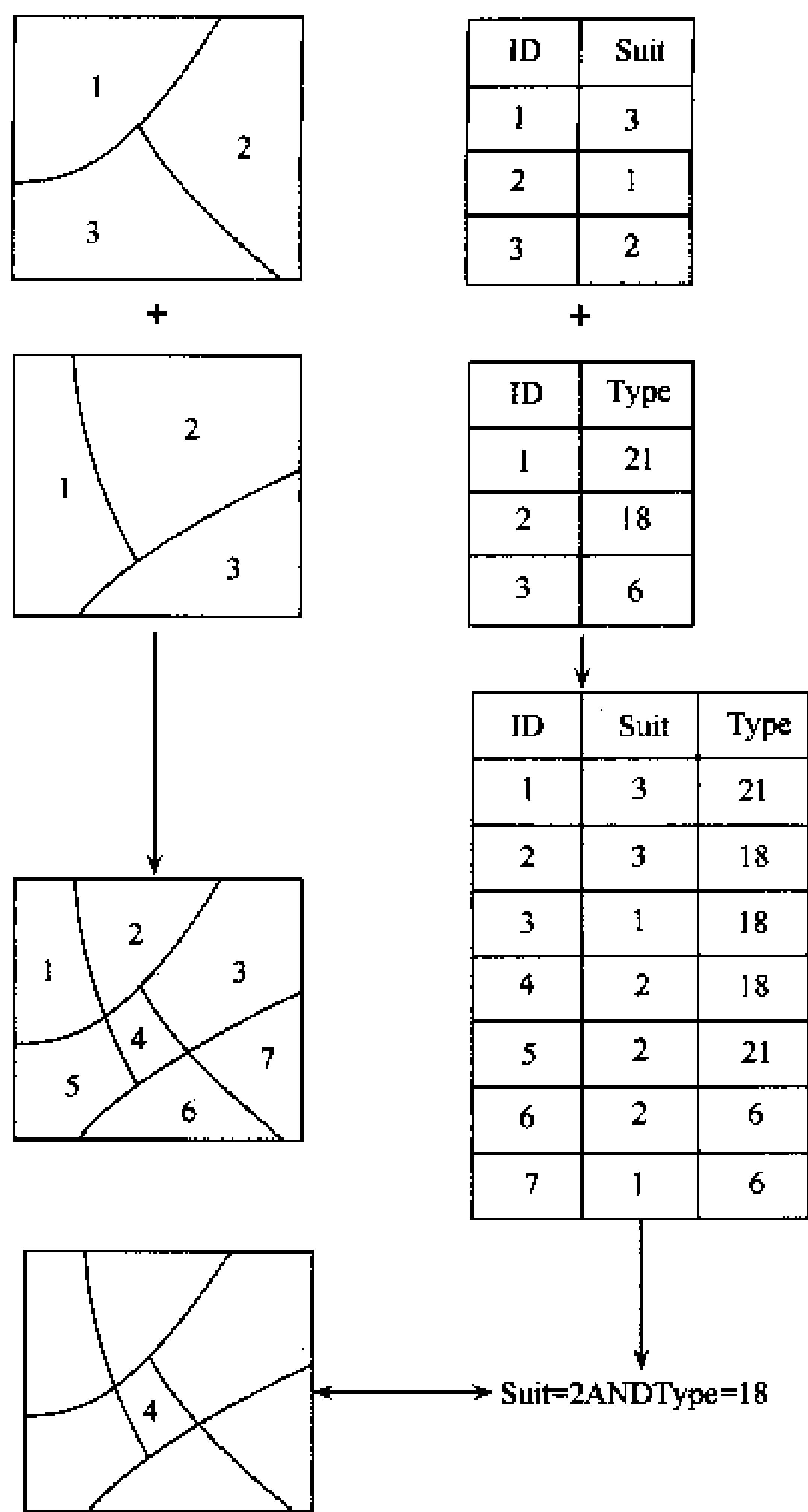


图 14.1 本图说明基于矢量的逻辑模型。上方两幅地图被叠加，使它们的空间要素和 Suit 和 Type 属性组合在一起。逻辑表达式 Suit = 2 AND Type = 18 的运算输出结果是多边形 4 被选中。

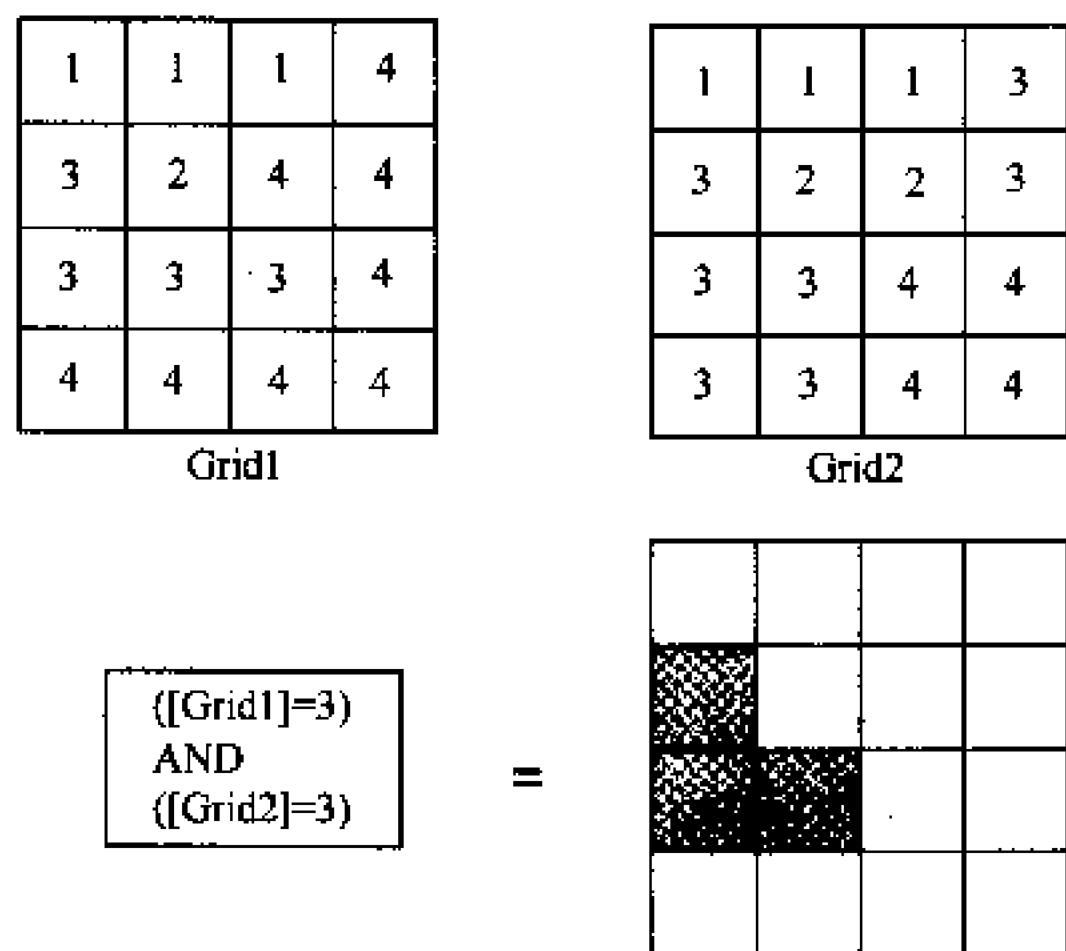


图 14.2 本图说明基于栅格的指数模型。查询表达式([Grid1]=3)AND([Grid2]=3)的运算输出结果为选中 3 个单元。

(4) 不受洪涝威胁；

(5) 距离重型公路不超过 1mi；

(6) 坡度小于 10%。

县政府可按下列步骤完成这一任务：

(1) 收集与指标有关的数字地图，对重型公路作缓冲操作来创建 1 mi 缓冲带地图；

(2) 通过一系列地图叠加操作把公路缓冲带地图与其他地图组合在一起；

(3) 查询包含所有选择指标的组合地图，揭示哪个地块为潜在工业用地。

选点分析的另一个例子是美国农业部农场服务局(FSA)主管的保护区预留项目(CRP)(http://www.usda.gov/services.html/)。符合 CRP 条件的土地包括在近 5 年中有 2 年用于种植商品作物的农地。此外，农地必须符合下列要求：

(1) 侵蚀指数≥8 或被认定为极易侵蚀地；

(2) 种植的湿地；

(3) 致力于任一种高获益环境措施，比如过滤带、河滨缓冲带、禾草水路(grass waterways)、防护林带、水源保护区和其他类似措施；

(4) 遭受冲蚀；

(5) 位于国家级或州级 CRP 优先保留区，或与非耕作湿地相伴和被其包绕的农地。

与工业选点分析的例子相似，FSA 对每个指标编一幅地图，将这些地图叠加，查询组合地图的属性是否符合 CRP 对农业用地所定的质量标准。工业选点和 CRP 的例子都适合于矢量数据，因为需要准确的面积量算。

二值模型也可用于察觉变化。变化察觉模型可以是基于矢量或栅格的，取决于数据源及其最终用途。导出矢量模型的方法是，把表示两个不同时刻的感兴趣变量空间分布地图叠加，并对组合地图的属性数据进行操作(Schlagel 等 1996)。例如，国家林地对 1980～1990 年一个林区内植被覆被的变化感兴趣，这一任务将涉及下列步骤：

(1) 编绘 1980 年和 1990 年的植被覆被图；

(2) 把这两幅地图叠加，使植被覆被的边界及属性结合形成输出结果；

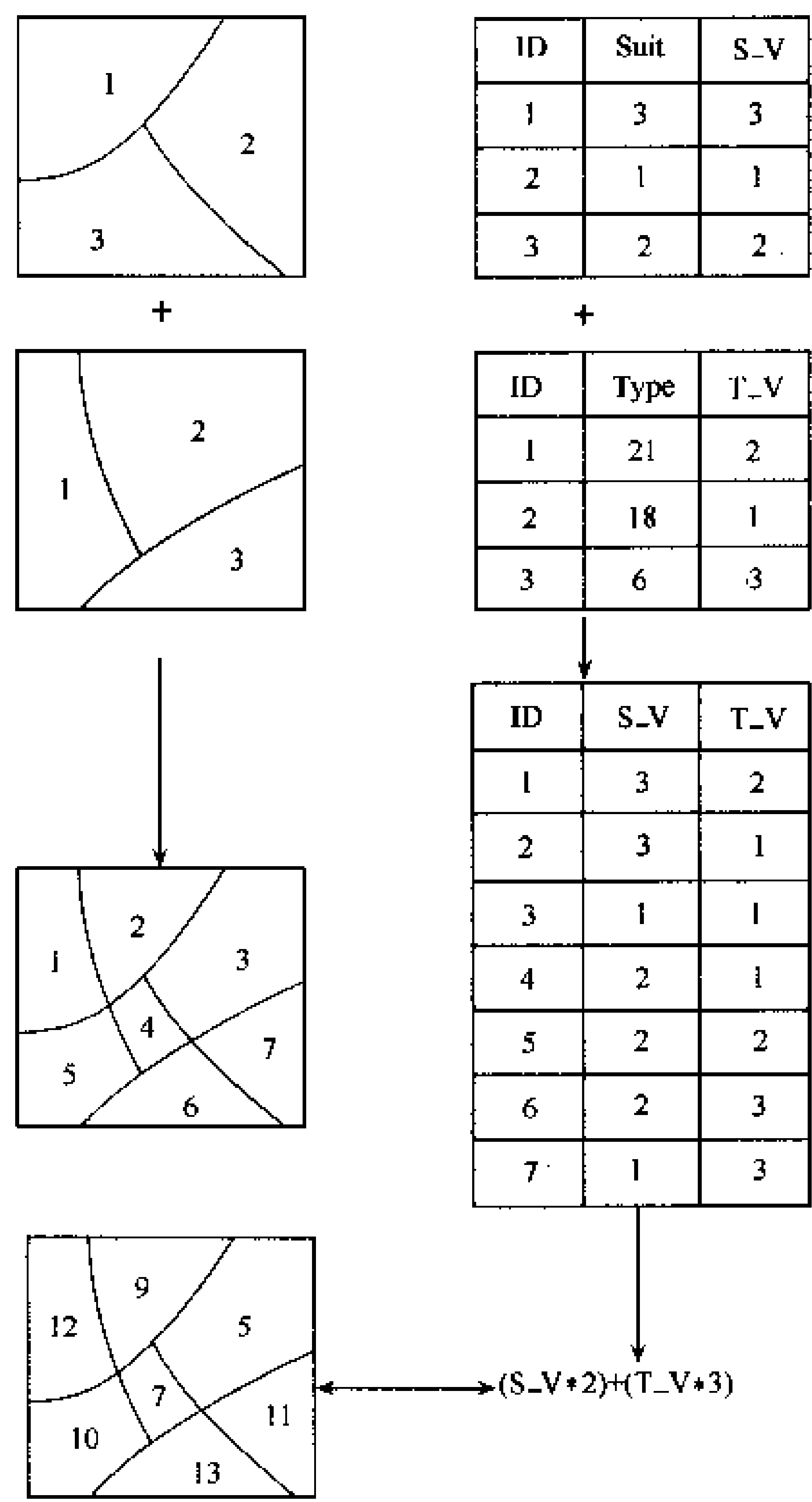
(3) 在组合地图上查询属性数据，以揭示哪些多边形发生变化，哪些未变。

用格网替代植被覆被图，可制备栅格格式的同样模型。格网可用于查询特定类型植被覆被的变化，比如由松占优势变为道格拉斯杉占优势。另一种方法是在两个格网上先用 Combine(组合)局部运算。Combin。(组合)对每种植被覆被变化类型赋予一个惟一输出值。输出格网便可用于查询所感兴趣的植被覆被变化。

有时，二值模型的作用是帮助建立更精确的模型。当所需的分析数据不完整，空间要素之间的关系尚不清晰的时候，二值模型经常用于建模过程的开始阶段。Candystick 是爱达荷州中部和蒙大拿州西部记录的稀有植物种。仅用几个 candystick 观察点未能定义其有利的生活环境，尽管有些人认为该物种主要生存于高海拔的美国黑松(lodgepole pine)林的缓坡(Lichthardt 1995)。基于初步掌握的 candystick 生长环境条件的二值模型，能缩小野外调查的范围，导致对 candystick 的更多观察和对该物种生长环境的更好定义。

14.4　指数模型

指数模型用由组合地图或多个格网计算的指数值生成分等地图。指数模型中所选择的变量在两个层次评估(图 14.3)。第一,评估每个变量对其他变量的相对重要性。通过评估确定变量的权重。例如,野生生物生存环境模型分别对海拔、坡度、坡向赋予 3、2、1 的权重值。



ID	Suit	S_V
1	3	3
2	1	1
3	2	2

ID	Type	T_V
1	21	2
2	18	1
3	6	3

ID	S_V	T_V
1	3	2
2	3	1
3	1	1
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	1	3

图 14.3　本图说明基于矢量的指数模型。首先,每幅地图的观测值被给定 1 到 3 的数字得分。适宜性(Suit)数值 1、2 和 3 被相应给予 1、2 和 3 的得分。6、18 和 21 的类型值(Type)被分别给予 3、1 和 2 的得分值。其次,这两幅地图被叠加。再次,权重值 2 被赋予含适宜(Suit)的地图,权重值 3 被赋予含类型(Type)的地图。最后,计算输出地图的每个多边形的指数值,例如,多边形 4 的指数值为 7(即 $2\times2 + 1\times3$)。

第二,评估每个变量的观测值并给出得分。通常是将观测值分类,对每个类型打分。例

如,海拔高度可分为小于 1000m、1000～1200m 和大于 1200m 三种类型,相应给予 1、2 和 3 的得分。分值的值域由用户定义,并用于所有选择的变量。值域可以从 0.0～1.0、1～5 或 1～9。

在评估了所选变量和对每个变量打分之后,指数模型可表达为一个线性方程,方程左边为指数变量,右边为所选变量及其权重。指数值由每个变量的加权得分值总和计算而得。图 14.3 显示一个基于矢量的指数模型,它需要地图叠加运算把属性组合到单一表格,属性数据的计算生成指数值。图 14.4 显示一个基于栅格的指数模型,它是用一系列局部运算来算得指数值。

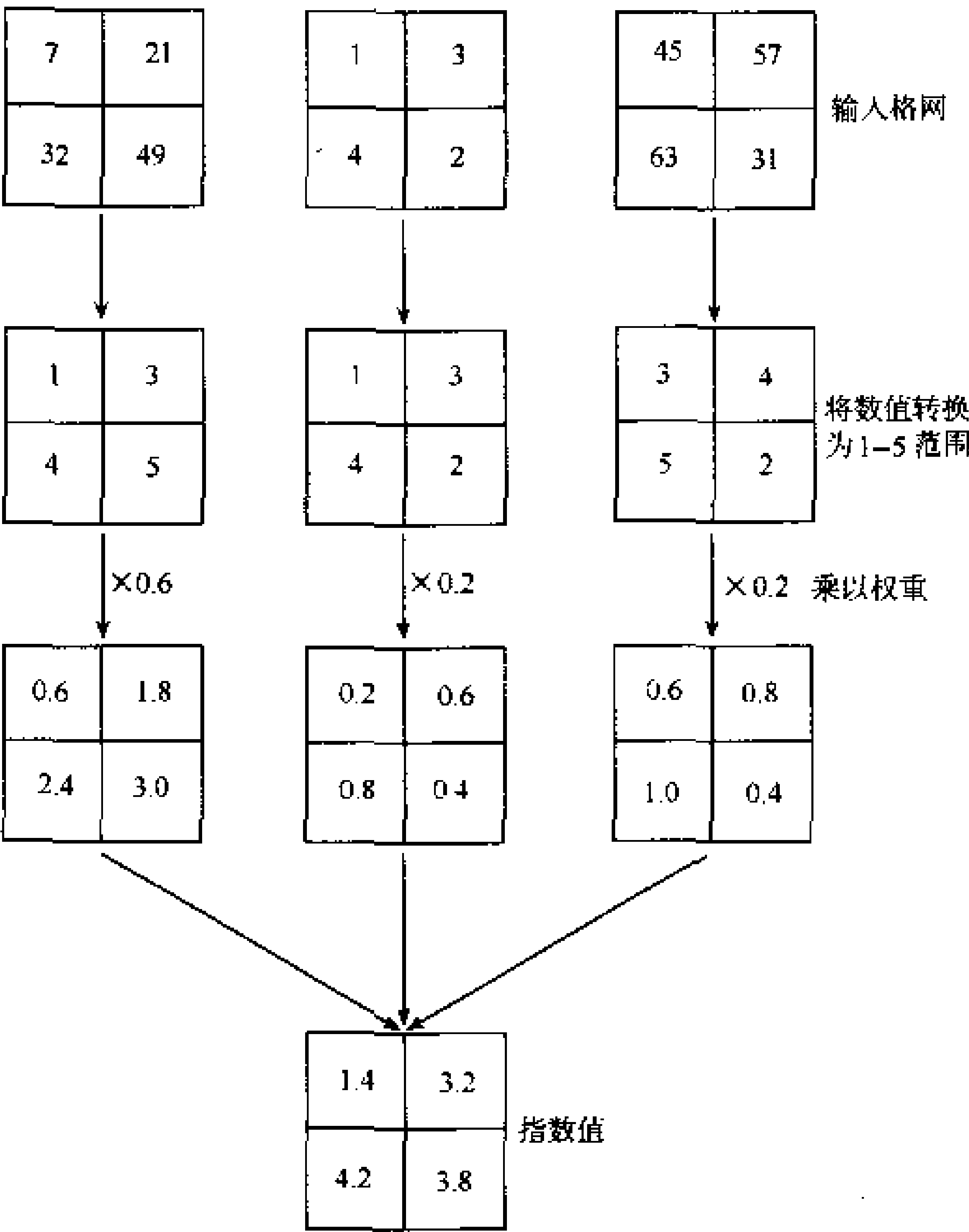


图 14.4 本图说明基于栅格的指数模型。首先,每个输入格网的单元值被赋予 1～5 的数字得分。其次,输出格网的指数值由每个格网与其所赋权重值相乘积的加和计算而得。例如,指数值 1.4 的计算:1×0.6 + 1×0.2 + 3×0.2 或 0.6 + 0.2 + 0.6。

对指数模型生成分等地图,最后一步常常要对指数值归一化,使其标度值为 0～1 之间。用于数据归一化的公式为

$$(X - 最小指数值) / (指数值的值域) \tag{14.1}$$

这里 X 为指数值。例如,在图 14.3 中的指数值从 5～13 变化,指数值 9 的归一化得分为 0.5(即 4/8)。

建立指数模型不难,但是要求 GIS 用户对数字打分和权重值加以考究。在 GIS 中简

化指数模型建模过程的用户界面因而受欢迎。ArcView 的 ModelBuilder 即为此目的而设(注释栏 14.2)。其中运算之一是格网叠加,可以是算术叠加(Arithmetic Overlay)和加权叠加(Weighted Overlay)。算术叠加是对所选变量等权处理来建立指数模型,而加权叠加采用不同的权重。GIS 用户可通过菜单对话框对指数模型赋予数字得分和权重值。

有一些方法与上述创建指数模型的方法有所不同,尤其是基于栅格的模型。例如,不是对每个变量的加权得分求和,而可以把最低分、最高分,或变量中出现频率最高的得分作为指数值(Tomlin 1990, Chrisman 1997)。对于栅格数据分析,这些变更容易通过局部运算一并加以考虑。

指数模型通常用于适宜性分析和脆弱性分析。文献中有许多例子,在这里我们仅列举五个例子。第一个例子是纽约与新泽西交界的斯特灵森林(Sterling Forest)保护区首选土地的研究(Lathrop 等 1998)。该研究选择以下五个参数作为评价的输入项目:

(1) 由于土壤条件/陡坡/洪涝而限制开发;

(2) 由于靠近水体/湿地而有非点源污染可能性;

(3) 由于与现有公路和开发区的距离而至栖息环境分割的可能性;

(4) 敏感的野生生物栖息地;

(5) 美学影响(从阿巴拉契亚和斯特灵山脉(Sterling Ridge)徒步小道的可视性)。

ArcView 中的 Model Builder

正如 Spatial Analyst 扩展模块 2.0 版中新文档所介绍的,ModelBuilder 允许用户用模型框图或流程图来建立基于栅格的指数模型。ModelBuilder 提供五种类型的运算:数据转化、重新分类、地形分析、距离量测和格网叠加。数据转化运算包括了从矢量到格网、从 DEM 到格网以及点的插值。地形分析运算包括了等高线、坡度、坡向和晕渲。格网叠加运算包括了算术叠加和加权叠加。这两种格网叠加都可用于建立指数模型,如同本章应用部分的习作 5 所示。

利用 ModelBuilder,ArcView 用户可建立模型框图,即把一系列输入、在输入图件上作的空间操作功能和输出串在一起。ModelBuilder 依序执行一系列运算来生成最后的地图。一旦模型建立起来,只要简单地对输入或模型框图的功能作任何改变,便可重新运行。例如,为了确定一个指数模型的敏感度,可用不同的数值得分和权重值方案来重新运行模型。

该研究采用下列步骤:

(1)对每个参数按环境成本/开发约束从 1 到 5 排序,1 为很轻微,5 为很严重。

(2)对每个参数制作格网,并叠加输入格网。

(3)取五个输入参数中的最大值赋予输出格网的单元。

(4)从输出格网的低值单元中选择适宜作为保护区的土地。

第二个例子是由环境保护局(EPA)开发的用于评价地下水污染可能性的 DRASTIC 模型(Aller 等 1987)。DRASTIC 是该模型中用到的七个参数的缩写:水的埋深(depth to water)、净补给(net recharge)、蓄水层介质(aquifer media)、土壤介质(soil media)、地形(topography)、渗流带的影响(impact of the vadose zone)和导水率(hydraulic conductivity)。DRASTIC 的应用涉及对每个参数的评分,把得分乘以权重系数,并由下式加和求得总得分:

$$总得分 = \sum_{i=1}^{7} W_i P_i \tag{14.2}$$

这里 P_i 为第 i 个输入参数，W_i 为 P_i 的权重系数。

第三个例子是栖息地适宜性指数(HSI)模型。HIS 模型通过对野生生物物种至关重要的属性来评价栖息地的质量。HIS 模型的发展过程涉及根据野生生物生存需求来解释栖息地变量，并把这些变量转化成可评分的空间变量，用于 HIS 模型。例如，Kliskey 等人(1999)用下列方程来计算松貂(pine marten)的栖息地适宜性：

$$HIS = sqrt(((3SP_{BSZ} + SR_{SC} + SR_{DS})/6)((SR_{CC} + SR_{SS})/2)) \tag{14.3}$$

这里 SR_{BSZ}、SR_{SC}、SR_{DS}、SR_{CC}和 SR_{SS}分别为生物气候带、点位类型、优势种、郁闭度和演替阶段的评分。该模型把 HIS 的值域转换成 0～1 的尺度，0 为不适宜作栖息地，1 为理想的栖息地。

第四个例子是森林火灾指数模型。Chuvieco 和 Congalton(1989)为西班牙地中海海岸的研究区构建了他们的模型，该模型用了下列五个因子：

(1)植被种类(v)，根据燃料类型、立地状况和点位分类；

(2)海拔高度(e)；

(3)坡度(s)；

(4)坡向(a)；

(5)与道路、小道、野营地或住宅群的接近度(r)。

每个因子分为不同层次，赋予标准得分 0、1 和 2，分别对应于高、中和低火灾。然后，根据因子对增加火灾的影响定出权重。该模型如下：

$$H = 1 + 100v + 30s - 10a - 5r + 2e \tag{14.4}$$

这里 H 是火灾指数。为了更好运作，森林火灾指数模型后来作了修订，包括天气数据等新变量、变量权重的更客观指标和把变量综合成综合火险指数的新方案(Chuvieco 和 Salas 1996)。

最后一个例子是人对化学事故脆弱性的模型。Finco 和 Hepner(1999)建立的模型包括下列人口统计学参数：

(1)总人口；

(2)18 岁以下和 65 岁以上的人数；

(3)由家庭收入表征的经济状况；

(4)与学校、医院和健康诊所等敏感机构的接近度。

每个参数在 0～10 之间打分，10 为最脆弱。总人口和敏感人口参数与脆弱性呈正相关，而经济状况参数与脆弱性呈逆相关。该研究设想经济上贫穷使得较难获取关于化学事故的信息，因此比其他人脆弱。该研究还设定 100m 作为敏感机构的影响带。最后，Finco 和 Hepner(1999)把上述四个参数组合成一个脆弱性测度。

指数模型的用途取决于变量的选择和数值打分的解释和权重(Robel 等　1993；Merchant　1994)。为了把主观偏见减至最小，要以专家组的一致意见来决定数值打分和权重。此外，在敏感性分析中采用不同的权重组合来评价脆弱性测度对权重方案的敏感性，可能会有帮助。

14.5 回归模型

回归模型是在一个方程式中建立一个因变量与多个自变量的关系，可用于预测和估算。如同指数模型，回归模型可在 GIS 中用地图叠加运算把分析所需的全部自变量结合起来。有线性回归和对数回归两种回归模型。当因变量和自变量都是数值变量时，用线性回归。当因变量是二值现象（例如，出现与否），自变量为类别数据或数值变量时，用对数回归。

Chang 和 Li (2000)用线性回归模型模拟积雪量。在该模型中，雪水量(SWE)是因变量，由 DEM 导出的位置和地形变量是自变量。例如，他们的区域模型之一可表达为：

$$SWE = a + b_1 EASTING + b_2 SOUTHING + b_3 ELEV \tag{14.5}$$

式中：a、b_1、b_2 和 b_3 和是回归系数；EASTING 是格网的单元列数；SOUTHING 是格网的单元行数；ELEV 是单元的高程数值。

Pereira 和 Itami (1991) 由对数回归建立的红松鼠生活环境适宜性模型如下：

$$Y = 0.002 elevation - 0.228 slop + 0.685 canopy1 + 0.443 canopy2 + 0.481 canopy2 + 0.009 aspectE\text{-}W \tag{14.6}$$

式中：canopy1、canopy2 和 canopy3 代表三种林冠类型。用式(14.6)的方程，研究者由式(14.7)可计算每个格网单元出现红松鼠的可能性(p)：

$$p = 1/(1 + \exp(-Y)) \tag{14.7}$$

Mladenoff 等(1995)也建立了一个对数回归模型来估计灰狼适宜生存环境的数量和空间分布。该研究用栅格数据并需要相当的数据处理量。开始先在多边形图层中建立威斯康星州狼的群集地区和非群集地区。狼群集地区是由狼定位地点的遥感勘测数据导出的活动范围。非群集地区随机分布于距已知群集地域至少 10km 的研究区。随后，群集区与非群集区都与人口密度、被捕食动物密度、道路密度、土地覆被和土地所有权等景观图层叠加。利用合成的图层，逐步对数回归分析收敛于下列模型，

$$\text{logit}(p) = -6.5988 + 14.6189 R \tag{14.8}$$

式中：p 为出现群集狼群的概率；R 是道路密度。出现狼的概率值可由下式计算。

$$p = 1/(1 + e^{\text{logit}(p)}) \tag{14.9}$$

式中：e 是自然对数底。

这个基于威斯康星州数据的指数回归模型随后被应用到三个州（威斯康星州、明尼苏达州和密执安州），绘制出狼适宜栖息地的数量和分布。同样的模型被用于随后的研究(Mladenoff 等 1998)，预测东北部从纽约到缅因州的狼适宜栖息地。后一个研究是基于单元分辨率 5km 的栅格数据的。

一些 GIS 软件能够运行线性和对数回归分析。ARC/INFO 和 IDRISI 都有建立基于栅格的线性回归 或对数回归模型的命令。GRASS 有建立线性回归模型的命令。与统计分析软件不同的是，这些 GIS 命令不提供运行线性回归和对数回归分析的方法选择。

14.6　过程模型

过程模型把现有关于现实世界环境过程的知识综合成一组用于定量分析该过程的关系式或方程(Beck 等　1993)。不像前述模型都是描述性或统计性的,过程模型提供判断能力和对所提出过程的内在解释(Hardisty 等　1993)。某些过程模型采用与指数模型相似的通用方程(Coroza 等　1997),另一些则用复杂的方程描述大量环境数据的相互作用。过程模型的输出往往是可用于预测的一组方程。

众所周知的通用过程模型的例子——通用土壤流失方程(USLE)用 6 个因子的乘积来预测农地的土壤流失(Wischmeier 等　1978),

$$A = R\,K\,L\,S\,C\,P \tag{14.10}$$

式中:A 是平均土壤流失(以吨为单位);R 是降雨强度;K 是土壤可蚀性;L 是坡长;S 是坡度;C 是耕作因子;P 是水土保持措施因子。这 6 个因子中,R、K、C 和 P 诸因子通常可由降水、土壤和土地利用的数据导出;L 和 S 两个因子可以从野外测量估算,当地形复杂且不规则时,造成对 USLE 用户的主要挑战。有种方法是把 L 和 S 结合成单一地形因子,这个单一地形因子可由对每个单元起作用的上坡和该单元的坡度来计算(Moore 等　1993, Desmet 等　1996)。

农业非点源(AGNPS)模型分析非点源污染并估算从农业流域产流水的质量(Young 等　1987)。AGNPS 是基于事件的,并在单元基础上运算。利用不同类型的输入数据,该模型可模拟产流、沉积和营养传输。例如,AGNPS 利用 USLE 的修订形式来估算一次暴雨的高地侵蚀(Young 等　1989),

$$SL = (EI)\,K\,LS\,C\,P\,(SSF) \tag{14.11}$$

式中:SL 为土壤侵蚀;EI 为暴雨总动能与 30min 最大雨强的乘积;K 为土壤可蚀性;LS 为地形因子;C 为耕作因子;P 为水土保持措施因子;SSF 为单元内的坡形调节因子。根据另一个基于流域特征的方程,可定出上述方程算得的冲积物所途经的单元。

SWAT(土壤和水评价工具)模型在大而复杂的流域预测土地管理措施对水的质和量、沉积物和农业化学利用率的影响(Srinivasan 等　1994)。SWAT 是基于过程的连续模拟模型。SWAT 的输入包括诸如作物轮作、灌溉、施肥和杀虫剂应用率等土地管理措施,以及流域和次级流域的降水、温度、土壤、植被和地形等自然特征。输入数据文件的建立需要次级流域的丰富知识。模型的输出包括地表水、地下水、作物生长、冲积物和化学利用率的模拟值。

USLE、AGNPS 和 SWAT 是过程模型的三个例子。参考文献提供了其他的过程模型,涉及渗流带非点源污染(Corwin 等　1997)、滑坡(Montgomery 等　1998)和地下水污染(Loague 等　1998)等课题。

过程模型一般是基于栅格的。GIS 在建立过程模型中的作用取决于模型的复杂性。简单的过程模型可以完全在 GIS 内制备和运行。但更多情况下,GIS 只是承担一些与模型相关的任务,诸如数据可视化、数据库管理和探索性数据分析。而后,将 GIS 与其他计算机程序链接,用于复杂的和动态的分析。

商业化 GIS 软件包不提供建立过程模型的命令。GRASS 用于对 AGNPS 准备输入

变量、运行模型和查看模型的命令。GRASS 还有命令能做出 USLE 的 *LS* 和 *S* 因子。自然资源保持局(NRCS)有一个示范项目,用土壤地理调查(SSURGO)数据库和 ArcView 界面开发了艾奥瓦州 5 个小流域的 SWAT 模型(http://waterhome.tamu.edu/NRCS-data/SWAT_SSURGO)。

重要概念和术语

GIS 建模:在建立空间上明显的模型的过程中应用 GIS。

二值模型:一种 GIS 模型,它用逻辑表达式从组合地图上选取地图要素。

过程模型:一种 GIS 模型,它把现有知识综合成一组关系式或方程用于自然过程的定量化。

回归模型:一种 GIS 模型,它涉及将一个因变量和多个自变量建立回归方程用于预测或估算。

紧密联结:通过共同用户界面把 GIS 与其他计算机程序链接的过程。

模型:一种现象和一个系统的简化表示。

松散联结:GIS 与其他计算机程序之间通过数据文件传递的链接过程。

植入系统:GIS 与其他计算机程序捆绑在一起,在系统中共享存储和共同界面。

指数模型:一种 GIS 模型,它用由组合地图和多个格网计算的指数值产生等级地图。

应用:地理信息系统建模

本章应用部分包括五个习作。习作 1 和习作 2 分别用矢量数据和栅格数据建立二值模型;习作 3 和习作 4 分别用矢量数据和栅格数据建立指数模型;习作 5 介绍 ArcView 的 ModelBuilder 扩展模块,该模块作为建立加权叠加模型的一种工具。

习作 1　建立基于矢量的二值模型

所需数据:高度带地图 elevzone.shp;河流地图 stream.shp。

习作 1 要你确定某种植物的潜在生境。elevzone.shp 和 stream.shp 均以米为单位并已经空间配准。elevzone.shp 显示三个高度带。这个潜在生境必须满足以下指标:① 在高度带 2 之内。② 距河流 200m 之内。

1. 启动 ArcView,加载 GeoProcessing 扩展模块。打开一个新视图,把 elevzone.shp 和 stream.shp 加到视图。
2. 从 View 下拉菜单选择 Properties,在 View Properties 对话框中,设定地图单位和距离单位为米。
3. 第一步先对河流作 200m 缓冲区运算。激活 stream.shp,从 Theme 菜单选择 Create Buffers。在 Buffers 对话框内,确认要作缓冲的要素为 stream.shp。点击 Next。设定指定距离为 200m,点击 Next。点击 Yes 消去缓冲区内的界线,将缓冲结果存盘并命名为 strmbuf.shp。点击 Finish。Strmbuf.shp 以 Buffer1 of stream.shp 出现在目录表中。从 Theme 下拉菜单选择 Properties,把 Buffer1 of

stream.shp 重命名为 strmbuf.shp。

4. 下一步是把 elevzone.shp 与 strmbuf.shp 叠加。在 View 菜单的 geoprocessing 向导下选择 Intersect Two Themes(两个专题图相交)。在弹出的对话框中选择 strmbuf.shp 作为相交的输入专题,elevzone.shp 为叠加专题,指定相交后的输出为 pothab.shp。点击 Finish。
5. 现在你想要查询 pothab.shp 并在高度带中选择区域。打开 pothab.shp 的专题属性表,点击 Query Builder 按钮。在 Query Builder 对话框中设定逻辑表达式为:zone = 2,并点击 New Set。你将在 pothab.shp 中看到潜在生境被加亮。
6. 经常要把二值模型的结果存为新专题,以便可以用它作参考或做进一步分析。可按以下步骤把 pothab.shp 转成新专题。激活 pothab.shp,从 Theme 下拉菜单选择 Convert to Shapefile(转成 Shape 文件)。在弹出的对话框内,为新专题指定路径和名称,点击 OK。

习作 2 建立基于栅格的二值模型

所需数据:高度带格网 elevzone_gd;河流格网 stream_gd。

除了采用栅格数据外,习作 2 要解决的问题与习作 1 相同。elevzone_gd 和 stream_gd 的单元分辨率均为 30m。elevzone_gd 的单元值对应于高度带。stream_gd 的单元值对应于河流 ID(标识)。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst。打开一个新视图,把 elevzone_gd 和 stream_gd 加到视图。从 View 下拉菜单选择 Properties,把地图单位和距离单位设为米。
2. 数据处理的第一步是从 stream_gd 创建连续的距离测度。激活 stream_gd,从 Analysis 选择 Find Distance(查找距离)。名为 Distance to Stream_gd 的输出结果加到了目录表中。
3. 现在可查询 elevzone_gd 和 Distance to Stream_gd 来确定该种植物的潜在生境。从 Analysis 菜单选择 Map Query(地图查询)。在 Map Query 对话框中,设定查询语句为:([Distance to stream_gd]<=200) AND ([elevzone_gd]=2)。点击 Evaluate。
4. 名为 Map Query 1 的输出结果显示潜在生境为 True(为真)。

习作 3 建立基于矢量的指数模型

所需数据:土壤专题图 soil.shp;土地利用专题图 landuse.shp;地下水埋深专题图 depwater.shp。

习作 3 模拟一个地下水脆弱性制图项目。该项目设想地下水脆弱性与三个变量有关:土壤特征、地下水埋深和土地利用。每个变量的评分系统为 0~50。例如,地下水埋深为 1~25ft、26~50ft、51~100ft 和 101~250ft 的各类型相应得分为 50、35、20 和 10。soil.shp 中的 soilrate, depwater.shp 中的 dwrate,landuse.shp 中的 lurate 显示相应变量的得分。landuse.shp 中的城市和建成区赋值为 99,将不纳入本模型。本项目设想土壤因素比其他两个因素更重要,因而赋值为 3,其他两因素赋值为 1。因此该指数模型可表

达为

指数值＝3×土壤得分＋土地利用得分＋地下水埋深得分

1. 启动 ArcView 并加载 GeoProcessing 扩展模块。
2. 把 soil.shp、landuse.shp 和 depwater.shp 加到视图。
3. 习作 3 的主要任务是将这三幅专题图叠加起来。每次只能叠加两幅地图，因此需要对三幅地图作两次叠加。采用 INTERSECT 作为叠加方法。从 View 下拉菜单选择 GeoProcessing Wizard（地学处理向导）。选择地学处理的 Intersect Two Themes（两幅专题图交叉）操作。landuse.shp 作为交叉运算的输入专题图，soil.shp 为叠加专题图，制定输出为 landsoil.shp。点击 Finish。
4. 下一步，将 landsoil.shp 与 depwater.shp 叠加。重复步骤 3，只是采用 landsoil.shp 和 depwater.shp 作为要叠加的专题图。指定输出结果为 vulner.shp，点击 Finish。
5. Vulner.shp 在其专题属性表中有三种得分。现在据此三个因素计算指数。在计算之前必须经过几个步骤。在 Vulner.shp 专题属性表中增加一个字段用于指数值。然后把得分为 99 的区域排除在计算之外。
6. 这一步加上一个名为 Total 的新字段到 Vulner.shp 的专题属性表中。打开 Vulner.shp 专题属性表，从 Table 下拉菜单中选择 Start Editing，然后从 Edit 菜单中选择 Add Field（添加字段）。在 Field Definition（字段定义）对话框中，指定字段名为 total，类型为数字，宽度为 6，小数位为 0。点击 OK。
7. 下一步，把得分为 99 的区域排除出计算。点击 Query Builder 按钮。设定查询表达式如下：([Lurate] <> 99)，点击 New Set。至此已做好计算指数的准备。从 Field 菜单选择 Calculat。在 Field Calculator（字段计算器）对话框中，在左下方框中输入：3*[Soilrate] + [Lurate] + [Dwrate]，点击 OK。你将看到 total 字段内填上了指数值。从 Table 菜单选择 Stop Editing，并选择 Save Edits。
8. 激活 View 视窗，显示指数值。双击 vulner.shp 打开图例编辑器。在 Legend Editor（图例编辑器）中指定 Legend Type（图例类型）为 Graduated Color（分级颜色），Classification Field（分类字段）为 total。点击 Apply。
9. 一旦指数值地图做好了，你便可修订分类，使指数值的分类可以代表极严重、严重、中度、轻微、极轻微之等级顺序。然后按下列步骤可把指数地图转化成等级地图：在名为 rank 的新字段下保存每个类型等级，用边界融合（dissolve）操作擦去落在相同等级的多边形边界。等级图看起来比指数值图更简单、更清晰。

习作 4 建立基于栅格的指数模型

所需数据：土壤格网 soil_gd，土地利用格网 landuse_gd，水深格网 depwater_gd。

习作 4 除了用栅格数据外，完成与习作 3 一样的分析。三个格网的单元分辨率均为 90m。soil_gd 中的单元值对应于土壤得分（soilrate），landuse_gd 的单元值对应于土地利用得分（lurate），depwater_gd 中的单元值对应于地下水埋深得分（dwrate）。

1. 启动 ArcView 并加载 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图，把 soil_gd、landuse_gd 和 depwater_gd 加到视图。

2. 首先要把 landuse_gd 中的 99 改为 No Data（无数据）。单元值为 99 代表城市和建成区，不纳入模型运算。激活 landuse_gd。从 Analysis 菜单中选择 Reclassify（重新分类）。在 Reclassify Values（重新分类值）对话框中，在 New Value 的第一单元中输入 20，在接着三个单元中输入 40、45 和 50。然后在下两个单元中输入 No Data。点击 OK。名为 Reclass of landuse_gd 的新格网加到了视图中。Reclass of landuse_gd 的单元值应为 20、40、50 和 No Data。
3. 从 Analysis 菜单选择 Map Calculator（地图计算器），从 soil_gd、reclass of landuse gd 和 depwater_gd 计算指数值。在 Map Calculation 1 对话框的视窗范围内准备下列表达式：[Soil_gd]* 3＋[Reclass of Landuse_gd]＋[Depwater_gd]。点击 Evaluat。名为 Map Calculation 1 的新格网加到了视图，即表示指数模型的格网。你可将这个指数格网与习作 3 的指数格网作比较（用同样的数据分类作地图比较）。尽管一个是栅格格式，另一个是矢量格式，但指数值的空间分布应该是相似的。
4. Map Calculation 1 的指数值域为 145.2～250。许多 GIS 用户更习惯其值域为 0～1。可从 Analysis 菜单选择 Map Calculator 来转化指数值域。在下一个对话框中，准备计算语句为：(([Map Calculation 1] － 145.2) / (250 － 145.2))。名为 Map Calculation 2 的输出结果显示其值域为 0 至 1。

习作 5　用 Model Builder 建立基于栅格的指数模型

所需数据：土壤格网 soilint_gd；土地利用格网 landuse_gd；地下水埋深格网 depwater_gd。

习作 5 利用 ArcView 中的 ModelBuilder 来建立与习作 4 相似的指数模型。然而，使用 ModelBuilder 需要做两处修正：一是用 soil_gd 的整型拷贝 soilint_gd 作为输入专题；二是用百分数而不是用整数作为权重。

1. 启动 ArcView，加载 ModelBuilder 和 Spatial Analyst 扩展模块。打开一个新视图，把 soilint_gd、landuse_gd 和 depwater_gd 加到视图中。
2. 从 Model 菜单中选择 Start ModelBuilder。在 ModelBuilder 短暂显示之后，打开了一个空白视窗。该视窗独立于 ArcView 应用程序视窗。
3. 开始数据输入。点击 Add Data，然后点击 ModelBuilder 视窗左侧的一个点来启动模型框图。用右键点击 Data 图标并选择 Theme。用右键点击 Theme 图标并选择 Properties。在 Project Theme 对话框中，输入 Soils 作为项目数据名称，选择 soilint_gd 作为输入专题，选择 value 作为输入字段。点击 OK。输入数据图标此刻变蓝，并有 Soils 标注。
4. 重复上面同样步骤输入 Land use 和 Depth to Water 作为项目数据名称，landuse_gd 和 depwater_gd 作为模型框图中的输入专题。
5. 在 ModelBuilder 视窗中加一个操作。点击 Add Function（添加功能），然后点击输入专题右侧的一个点。在模型框图中出现了 Function（功能）和 Derived Data（导入的数据）图标。对 Function 图标点击右键，并选择 Overlay，再选择 Weighted

Overlay（加权叠加）。这两个图标现在标注为 Weighted Overlay（加权叠加）和 Weighted Overlay Map(加权叠加地图)。

6. 下一步，将该功能与输入专题链接。点击 Add Connection(添加连接)并把光标从 Soils 拖到 Weighted Overlay 功能来添加它们之间的连接线。同样方法添加功能与 Land Use 和 Depth to Water 之间的连接线。
7. 本步骤要定义从三个输入专题建立指数模型的过程。点击 Add Function（添加功能）。用右键点击 Weighted Overlay(加权叠加)功能，并选择 Properties 来打开 Weighted Overlay 对话框。对话框上部有两个表格。首先选择 Evaluation Scale (评价标度)，Evaluation Scale 对话框决定指数模型中所选变量的评分系统。因为这三个输入格网的最大值是 50，必须确定自定义评价标度。在选择确定自定义评价标度(Choose a custom evaluation scale)之后，设定评价标度为：From 1 To 50 By 1。
8. 选择 Overlay Table(叠加表格)。该表格有 5 个字段：Input Theme(输入专题)、% Inf(%信息)、Input Field(输入字段)、Input Label(输入标注)和 Scale Value (标度数值)。需要对 % Inf 和 Scale Value 进行操作。% Inf 使你能对每个选定变量赋予以百分数表示的权重值。对 soilint_gd、landuse gd 和 depwater_gd 分别输入 60、20 和 20。权重值之和为 100%。
9. 本步骤要填 Scale Value 栏目。点击第一单元并将 Input Field Value(输入字段数值)输入为 Scale Value。例如，如果第一个记录属于 soilint_gd 且 Input Field Value 为 38，则输入 38 为其 Scale Value。对表格的其余部分作同样处理。例外的是 No Data 和 landuse_gd 中 Input Field Value 为 99 的记录，在此输入 Restricted(受限制的)作为标度值。
10. 在完成了 Weighted Overlay 对话之后，点击 Run。在下一个对话框中，指定保存模型的路径及其输出名称。该加权叠加地图在图例中显示指数值域为 1～50，但其专题属性表显示其值域实际上是 29～50。
11. 将加权叠加地图与习作 4 的 Map Calculation 1 作对比，两者看起来一样。因为 ModelBuilder 使用百分数权重，加权叠加地图中的最大指数值为 50，它是 Map Calculation 1 中的最大值(250)的 1/5。
12. ModelBuilder 以 xmd 为扩展名的文件保存模型框图。Xmd 文件可在 ModelBuilder 中重新打开，在模型再运行之前，% Inf 和 Scale Value 可以修改。

参考文献

Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. J. Petty, and G. Hackett, 1987. *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/2-87/035, 622 pp.

Beck, M. B., A. J. Jakeman, and M. J. McAleer. 1993. Construction and Evaluation of Models of Environmental Systems. In A. J. Jakeman, M. B. Beck, and M. J. McAleer (eds.). *Modelling Change in Environmental Systems*. Chichester, NY: John Wiley & Sons, pp. 3－35.

Chang, K., and Z. Li. 2000. Modeling Snow Accumulation with a Geographic Information System. *International Journal of Geographical Information Science* 14: 693－707.

Chrisman, N. 1997. *Exploring Geographic Information Systems*. New York: John Wiley & Sons.

Chuvieco, E., and R.G. Congalton. 1989. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sensing of the Environment* 29: 147—159.

Chuvieco, E., and J. Salas. 1996. Mapping the Spatial Distribution of Forest Fire Danger Using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 10: 333—345.

Coroza, O., D. Evans, and I. Bishop. 1997. Enhancing Runoff Modeling with GIS. *Landscape and Urban Planning* 38: 13—23.

Corwin, D.L., P.J. Vaughan, and K. Loague. 1997. Modeling Nonpoint Source Pollutants in the Vadose Zone with GIS. *Environmental Science & Technology* 31: 2157—2175.

Desmet, P.J.J., and G. Govers. 1996. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51: 427—433.

Desmet, P.J.J., and G. Govers. 1996. Comparison of Routing Systems for DEMs and Their Implications for Predicting Ephemeral Gullies. *International Journal of Geographical Information Systems* 10: 311—331.

Finco, M.V., and G.F. Hepner. 1999. Investigating US—Mexico Border Community Vulnerability to Industrial Hazards: A Simulation Study in Ambos Nogales. *Cartography and Geographic Information Science* 26:243—252.

Hardisty, J., D.M. Taylor, and S.E. Metcalfe. 1993. *Computerized Environmental Modelling*. Chichester, NY: John Wiley & Sons.

Kliskey, A.D., E.C. Lofroth, W.A. Thompson, S. Brown, and H. Schreier. 1999. Simulating and Evaluating Alternative Resource-Use Strategies using GIS-based Habitat Suitability Indices. *Landscape and Urban Planning* 45: 163—175.

Lathrop, R.G. Jr., and J.A. Bognar. 1998. Applying GIS and Landscape Ecologic Principles to Evaluate Land Conservation Alternatives. *Landscape and Urban Planning* 41: 27—41.

Lichthardt, J. 1995. *Conservation Strategy for ALLOTROPA VIRGATA (CANDYSTICK), U.S. Forest Service, Northern and Intermountain Regions*. Report of a cooperative challenge cost-share project, Nez Perce National Forest and the Idaho Department of Fish and Game.

Loague, K., and D.L. Corwin. 1998. Regional-scale Assessment of Non-point Source Groundwater Contamination. *Hydrologic Processes* 12: 957—965.

Merchant, J.W. 1994. GIS-Based Groundwater Pollution Hazard Assessment: A Critical Review of the DRASTIC Model. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 60: 1117—1127.

Mladenoff, D.J., T.A. Sickley, R.G. Haight, and A.P. Wydeven. 1995. A Regional Landscape Analysis and Prediction of Favorable Gray Wolf Habitat in the Northern Great Lakes Regions. *Conservation Biology* 9: 279—294.

Mladenoff, D.J., and T.A. Sickley. 1998. Assessing Potential Gray Wolf Restoration in the Northeastern United States: A Spatial Prediction of Favorable Habitat and Potential Population Levels. *Journal of Wildlife Management* 62: 1—10.

Montgomery, D.R., K. Sullivan, and H.M. Greenberg. 1998. Regional Test of A Model for Shallow Landsliding. *Hydrologic Processes* 12: 943—955.

Moore, I.D., A.K. Turner, J.P. Wilson, S.K. Jenson, and L.E. Band. 1993. GIS and Land-Surface-Subsurface Process Modelling. In M.F. Goodchild, B.O. Park, and L.T. Styaert (eds.). *Environmental Modelling with GIS*. Oxford, UK: Oxford University Press, pp. 213—230.

Pereira, J.M.C., and R.M. Itami. 1991. GIS-Based Habitat Modeling Using Logistic Multiple Regression: A Study of the Mt. Graham Red Squirrel. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 57: 1475—1486.

Robel, R.J., L.B. Fox, and K.E. Kemp. 1993. Relationship between Habitat Suitability Index Values and Ground Counts of Beaver Colonies in Kansas. *Wildlife Society Bulletin* 21: 415—421.

Schlagel J.D., and C.M. Newton. 1996. A GIS-Based Statistical Method to Analyze Spatial Change. *Photogrammetric Survey and Remote Sensing* 62: 839—844.

Srinivasan, R., and J. G. Arnold. 1994. Integration of a Basin-scale Water Quality Model with GIS. *Water Resources Bulletin* 30: 453—462.

Tomlin, C. D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. *Agricultural Handbook* 537. Washington, DC: U. S. Department of Agriculture.

Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson. 1987. AGNPS, Agricultural Non-Point-Source Pollution Model: A Large Watershed Analysis Tool. *Conservation Research Report* 35. Washington, DC: Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture.

Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson. 1989. AGNPS: A Nonpoint-Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds. *Journal of Soil and Water Conservation* 44: 168—173.

第15章 区 域

15.1 引 言

区域(regions)是建立在简单弧段和多边形之上的更高一级的对象（参见第3章)。区域数据模型将多边形组织成区域,并将多个区域组成区域层(region layers)或区域子类(subclasses)。区域由空间上相连或不相连的多边形组成。不同区域子类的区域可以叠加或覆盖相同范围。每个区域子类可有其自己的属性,并有独立的数据显示、查询和分析功能。区域数据模型的一些特征,与基于面向对象的数据模型中的多边形 shapefiles 和多边形要素相似。

区域数据模型与地理学、景观生态学和林学等学科的地理区域的概念相对应(Berry 1968, Bailey 1976, Forman 等 1986)。地理区域定义一个范围,该范围具有可给出该范围特征的某种属性。地理区域的例子包括种族区域、语言区域、水文单元和生态单元等。如同区域数据模型,这些地理区域可以叠加,每个区域可以包括空间上相接或不相连的范围。

本章分为七个部分。第一部分述及两种地理区域;第二部分讨论区域数据模型的应用;第三部分阐述由新的和现有弧段和多边形创建区域的方法;第四部分讨论如何删除和转换区域;第五部分说明如何用区域来管理属性数据;第六部分和第七部分述及基于区域的叠加、查询和其他工具。

ArcView 和 ARC/INFO 都可通过在多边形图层中将区域子类视为独立图层来显示、查询和分析。但是 ArcView 不能创建区域或完成基于区域的分析。尽管区域与地理数据库(geodatabase)模型的多边形特征相似,但这两种模型在 ArcInfo 8 中仍然分离。仅在 ArcInfo 工作站 或 ARC/INFO 中可访问区域。

15.2 地 理 区 域

15.2.1 均匀区域

均匀区域的广义定义是具有相似特征的地理区域。均匀区域可与单一专题相联系,例如,1970 年的美国国家地图集包括一幅比例尺为 1∶7 500 000 的地图,该地图通过用坡度、局部地形和剖面类型的分类方案,把全国分成若干均匀地形区域。同一地图集还包括潜在自然植被、土壤和主要土地利用类型等均匀区域。交通分析地带(traffic analysis zones)是另一个例子,被定义为有着相似土地利用和经济活动的地理区域,在旅行查询模型中表述旅行的出发地和目的地(Miller 1999)。

均匀区域也可由多个专题定义。这种类型的均匀区域的一个例子是奥默尼克生态区

(Omernik ecoregions)(1987)。通过叠加过程将土地利用、潜在自然植被、陆地表面形态、土壤和其他相关数据结合起来,Omernik 的比例尺为 1∶7 500 000 的地图上将美国本土分成 76 个经济区。一些奥默尼克生态区有不相连的区域,例如名为"亚利桑那/新墨西哥山脉"的生态区由亚利桑那和新墨西哥的几个互不相连的区域组成。

15.2.2 等级区域

等级区域代表一个等级系统的不同空间尺度。一个等级结构将地球表面逐级分成更小的区域,区域被划分得越小,内部相似性就越高。等级区域的两个众所周知的例子是人口普查单元和美国地质调查局水文单元。

美国人口普查局编制并颁发了按州、县、人口普查片、街区群和街区的人口普查数据。这些区域单元形成一个嵌套等级系统:街区包括在街区群中,街区群包括在人口普查片中,人口普查片包括在县中,县包括在州中(图 15.1)。在一个等级系统中人口普查单元代表空间集合的不同层次。

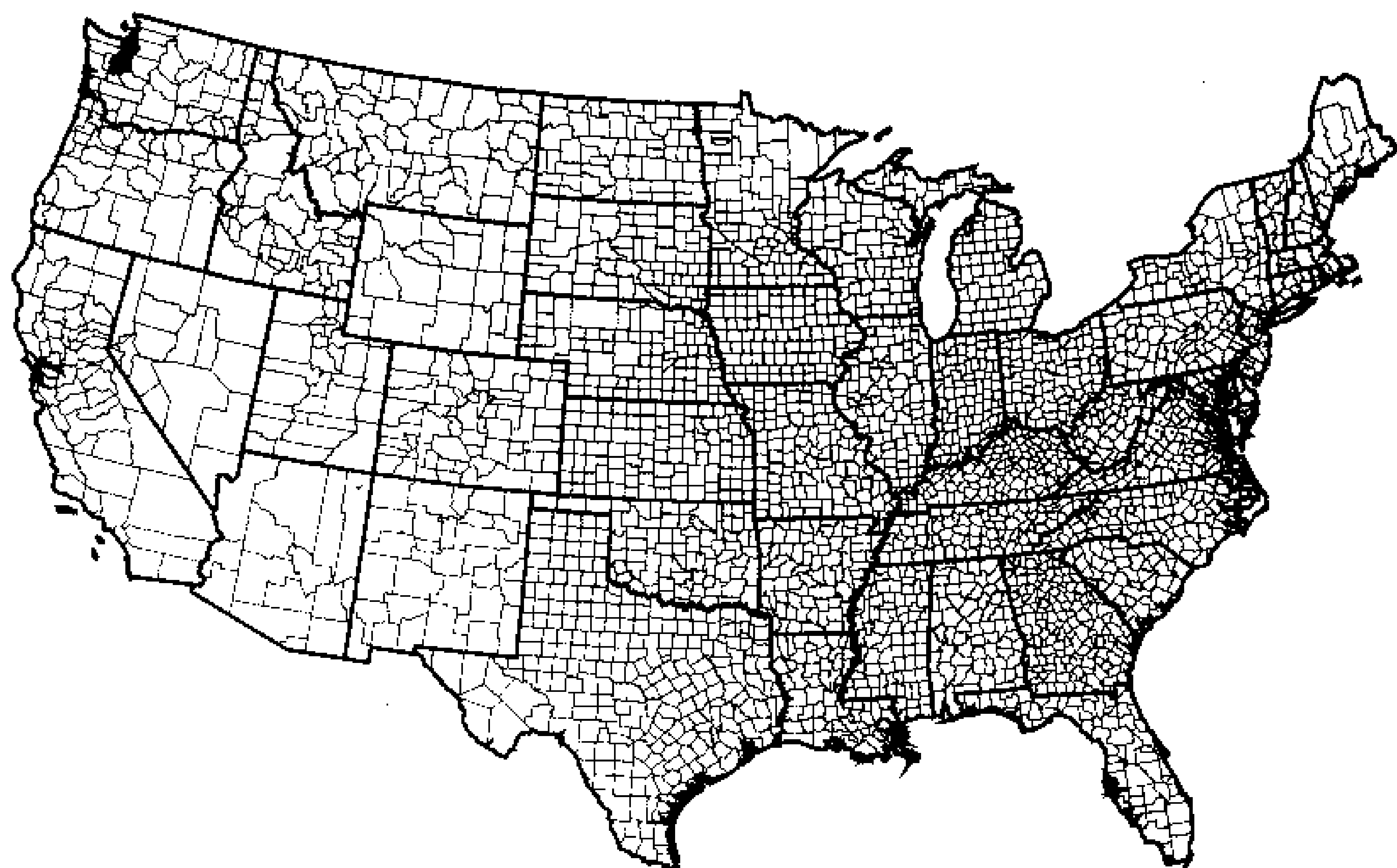


图 15.1 美国本土的县和州的嵌套等级系统。

美国地质调查局的水文单元也是用嵌套的等级系统来组织的。美国被逐级分成较小的水文单元,共有四级:区域、亚区域、统计单位和编目单位(http://water.usgs.gov/GIS/huc.htm)。每个级别被赋予两位数字代码。因此美国的每个水文单元都有二到八位数字的惟一代码,数字的多少取决于该单元在等级系统中的分类级别。

生态单元是等级区域中更为复杂的例子。1993 年美国森林管理局(USFS)采用国家生态单元等级框架。这主要是基于 Bailey(1976, 1983)的工作(http://svinet2.fs.fed.us/land/pubs/ecoregions/)。这个等级框架通过在生态区、生态亚区、景观和土地

单元各尺度上生态因素的组合，提供了对地球表面的区域进行分类和制图的一种系统方法(Cleland 等　1997)。气候和地形决定了生态区和生态亚区的界线。在气候和地形的基础上，加上地貌、母岩母质和潜在自然生物群落，用于定义景观边界。地形、土壤特征和植物联合用于将景观单元续分成土地单元。加拿大土地生态分类系统具有类似的框架，它分成四个等级水平：土地区域(land region)、土地小区(land district)、土地系统(land system)和土地类型(land type) (Wiken Ironside 1977) (http://sis.agr.gc.ca/cansis/nsdb/ecostrat/intro.html/)。

据 Cleland 等(1997)报道，生态单元对于生态系统区划、资源评价、环境分析和管理以及自然资源监测等方面非常有用。

15.3　区域数据模型的应用

15.3.1　创建地理区域

用多边形或区域都能建立地理区域。例如，生态单元制图法，就是编辑必要的基础地图(如地形、地质、土壤、气候和潜在自然生物群落)，将这些多边形地图进行叠加；查询这些输入因素的联系。这种方法生成了生态单元系列地图，每种空间尺度作为一幅地图。区域方法用同样的输入数据，但是把每个空间尺度整合成多边形图层中的区域子类。因此，区域方法生成了**综合图层**，它将多边形图层与内置的区域子类结合起来。

综合图层比一系列多边形图层有若干优点。首先，区域数据模型允许嵌套、叠加不相连范围的区域子类和区域。对比之下，一个多边形图层不能含有叠加的多边形或包含空间不相连组分的多边形。其次，综合图层在数据管理上比一个地图系列更为简单。尤其是在较长的地图系列的情况下，例如，过去 100 年森林火灾记录。第三，基于区域的查询和分析命令，只能用在综合图层，在许多情况下，它们比基于多边形的命令更有效。本章后面将述及这些基于区域的命令。

综合图层也有其不足之处。首先，带有区域子类的综合图层要求较大的计算机内存和较长的处理时间；其次，综合图层比多边形图层更难修改和更新。如果其中一个输入图层被修改，不管修订幅度多大，该综合图层必须重建；第三，综合图层比单一多边形图层更难操作，例如重选(reselect)、裁剪(clip)和擦除(erase)(参见第 10 章)。改变弧段、多边形和区域的等级数据结构，会使综合图层遭到破坏；第四，综合图层的使用主要限于 ARC/INFO 和 ArcView 用户，尽管区域子类容易转成 shapefiles 格式而可被许多其他 GIS 软件包使用。

15.3.2　在地理信息系统分析中合并空间尺度

等级区域代表一个等级系统中的不同空间尺度，因此用于包括空间尺度的 GIS 分析是理想的。这里我们来调查两个涉及空间尺度的活跃研究领域。

1. *生态系统的研究*

生态系统是生命形式与环境相互作用的场所。生态系统的结构和功能受环境因素和生物学因素(包括气候、地质、土壤和植被)的影响,这些因素依不同空间尺度而异(注释栏 15.1)。生态学中的等级理论强调发生在空间等级系统中的生态系统及其下的生物自然环境,小的生态系统包含在大的生态系统中(Allen 等 1982,O'Neill 等 1986)。有关文献表明生态模式和过程是由尺度决定的,在生态学研究中尺度是一个重要的变量(Meentemeyer 等 1987,Urban 等 1987,Wiens 1989,Costanza 等 1994)。

[illegible] **地图比例尺和空间尺度**

比例尺是一个容易混淆的术语。地图制图员把地图比例尺定义为图上距离与它所代表的实地距离的比率。地图比例尺为 1 : 24 000,意味着地图上的 1in 代表实地距离 24 000in(2000ft)。若比例尺为 1 : 100 000,地图上 1in 代表实地距离 100 000 in(约 1.58mi)。对地图制图员来说,1 : 24 000 比例尺比 1 : 100 000 大,大比例尺地图比小比例尺地图覆盖的区域小。

生态学家使用空间尺度这一术语。空间尺度不像地图比例尺那样严格定义。空间尺度指的是区域大小或范围。因此大空间尺度比小空间尺度覆盖更大的区域。换言之,生态学家所指的大空间尺度是地图制图员的小的地图比例尺。

根据等级理论,较大生态系统的状况和过程能影响或制约较小的生态系统,例如,在一个生态单元的上坡进行伐木作业,很可能会影响下坡处较小单元的河流和河滨带生存环境。同时,局部状况和过程会对较高一级系统产生累积效应,例如,在雪与松林景观里的松树将太阳辐射转换成可感热,可感热会传导到雪被上,使得这里的雪被比在全是雪被或全是森林的盆地情况下融化更快(Bailey 1983)。

在生态学中尺度是一个复杂的主题。运用区域数据模型,GIS 在两方面有助于这一领域的研究。首先,通过将不同空间尺度整合到区域子类,建立综合图层,换言之,区域数据模型提供了一种方法来创建一个框架,这个框架类似于 Walker 等(1991) 倡导的等级 GIS。其次,GIS 能为处理和分析不同区域子类的属性提供分析功能。

2. *可修改区域单元问题*

可修改区域单元问题(MAUP)指用于空间分析的区域单元"可修改"本质以及它对分析及建模结果的影响。区域单元可修改本质体现在两个方面:空间数据聚合的水平和用于收集数据的区域单元的定义或划分。在有关 MAUP 的文献中(Openshaw 等 1979,Wong 等 1996)前者是指比例尺的影响,后者指分区的影响。例如,人口普查数据的用户必须认识到比例尺的影响,因为他们可能选择街区群、统计片或者县用于分析。如果区域单元的边界(如人口普查单元)能预先确定,则分区的影响就不存在。而当用随机过程聚合区域单元时,就存在分区的影响(Fotheringham 等 1991)。

MAUP 的早期研究发现,相关性加强了空间聚合性(Gehlke 等 1934)。Robinson(1950)报道了在估算的相关系数与用于计算的人口普查数据空间尺度之间存在类似关系。MAUP 效应在其他研究中也有报道:二元回归(Clark 等 1976,Amrhein 1995),

多元回归（Fotheringham 等 1991），空间相互作用（Openshaw 1977，Batty Sikdar 1982a，1982b）和定位与配置（location-allocation）（Goodchild 1979）。在景观生态学（Jelinski 等 1996）和运输规划（Khatib 等 2001）中，对 MAUP 也有研究。

MAUP 效应看来与二元回归相一致：随着空间聚合度等级的提高，相关系数可望总体提高，其原因可能是来自数据聚合的平滑效果。但是，据 Fotheringham 等（1991）的报道，MAUP 效应在多元回归中本质上是不可预知的（不管是线性回归还是对数回归）。他们建立的回归模型将布法罗（Buffalo）的平均家庭收入与人口统计学变量联系起来。纽约最初显示在统计片等级上的相关系数是 0.81，在街区组等级上的相关系数是 0.37。而后来的比例变换和分区的实验结果，在估算的回归参数和确定的系数方面显示很宽的值域。

考虑到 MAUP 效应的不确定性，明智的做法是将空间尺度作为一个变量结合到研究中去，若研究是基于可修改区域单元的话。例如 Fotheringham 等（1991）推荐在同一尺度以不同聚合水平和用不同分区系统来报告结果。通过将每种空间聚合水平都纳入作为区域子类来研究，区域数据模型对于 MAUP 的研究是很有用的。

15.4 创建区域

本节讨论在 ARC/INFO 中创建区域的方法。如上所述，区域与多边形 shapefiles 文件相似（注释栏 15.2），且多边形要素基于地理数据库（geodatabase）模型。将来面向对象数据模型可以增加创建多边形/区域的新方法。

在 ARC/INFO 中创建区域可以用以下几种方法：由现有弧段或多边形、由数据转换方法，由关联表、或由基于区域的命令。不管用哪种方法，区域的创建必须遵循区域数据模型及其数据结构。例如，无论何时在弧段和多边形之间作建立区域的选择，应该选择用多边形，因为区域是直接建立在多边形之上。如果选择弧段，创建区域的过程仍必须经历弧段、多边形和区域的等级数据结构。

Shapefiles 文件与区域

ArcView 的 shapefiles 文件是非拓扑的，而 ARC/INFO 的图层文件（包括区域子类）是拓扑的。但 shapefile 中的多边形 shapefiles 与区域子类相似，在邻接多边形之间的共享边界也使用双重弧段，并允许多边形相互叠加。

在把多边形 shapefile 转换成简单的多边形图层时，shapefiles 和 regions 间的共享性质变得十分有用。如果 shapefile 文件有叠加多边形的话，转换过程首先将多边形 shapefile 转成一个区域子类，接着用 CLEAN 命令删除双重的弧段。REGIONPOLY 命令通过对区域与多边形之间的关系进行分类并建立简单的多边形拓扑关系来完成这种转换。

在 ArcView 中将区域子类转成 shapefile 文件更简单。区域子类在多边形图层中以一个层的形式存在。在区域子类作为专题加入并被激活后，你能在 Theme 菜单中选择 Convert to Shapefile 来将区域子类转换成多边形 shapefile 文件。

创建区域的一种选择是在非连续和连续区域之间抉择。**非连续区域**可以有空间上不

邻接的组分，如同区域数据模型所允许的那样。而**连续区域**在空间上必须是连接的。虽然由两种选择创建的区域具有相同功能，但是区域子类属性表中的记录数是不同的。非连续选项的记录数一般比连续选项的少。

15.4.1 交互式创建区域

区域可直接被数字化，但过程缓慢，因为有叠置区域和它们在空间上脱节的组分。最好的方法是选择已数字化好的弧段或多边形来构建区域。图 15.2 显示了具三种适宜性等级数值的土壤适宜性图。假设我们要从该图层建立区域子类，用三种不同区域子类分别对应于三个不同适宜性等级值。下面说明如何用现存的多边形或弧段来创建区域子类。

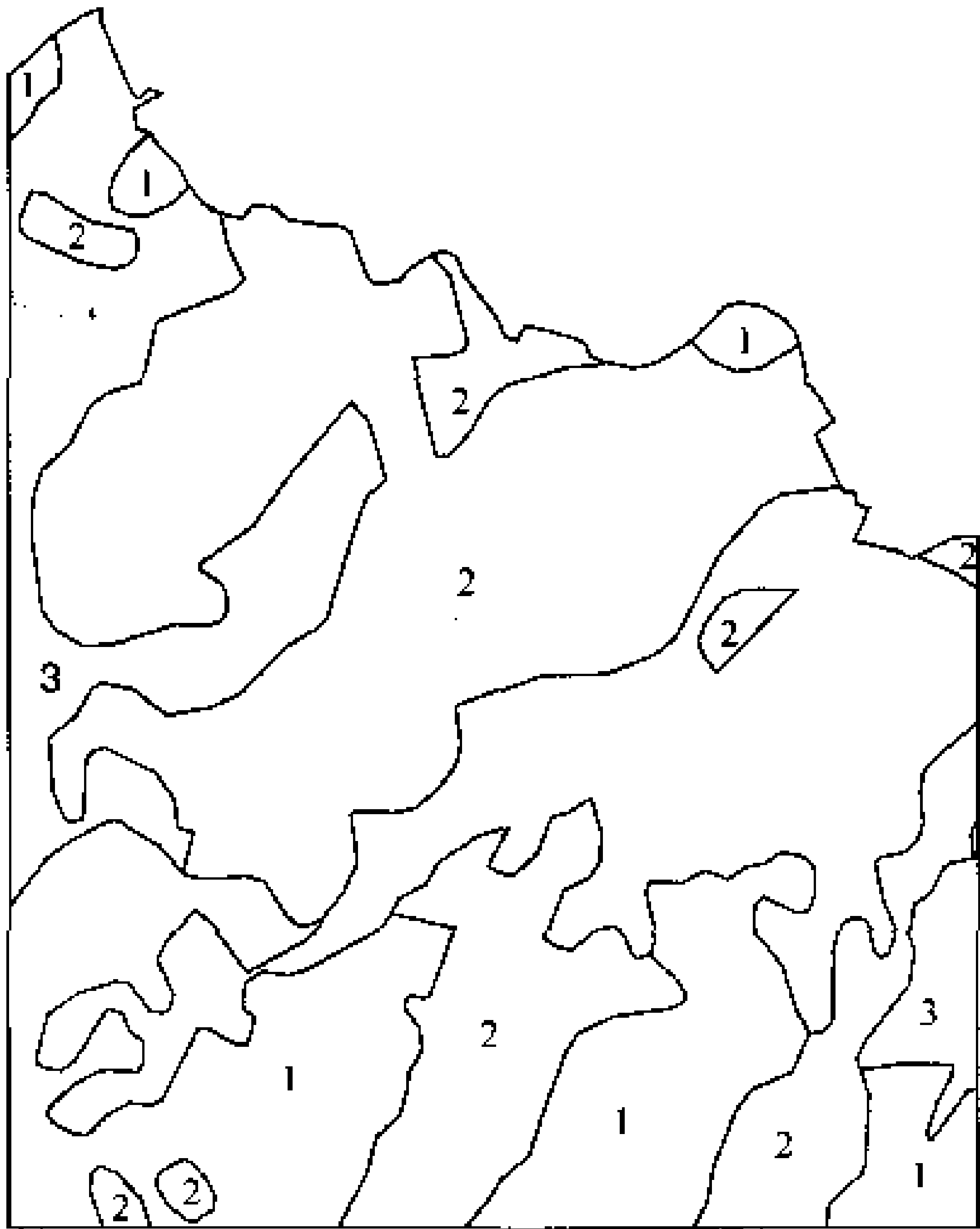


图 15.2 具有适宜性数值 1、2 和 3 的土壤图。

用现有多边形创建区域相对简单。例如，为了用适宜性数值为 1 的多边形构成区域，只要求选出适宜性数值为 1 的多边形，并用 ARC/INFO 命令 MAKEREGION 由选中的多边形来构成区域(图 15.3)。我们可用相同的方法创建适宜性数值为 2 和 3 的区域。这个例子中，输出结果是用非连续选项得到的。同样，连续选项可由每个多边形构建区域，并以该多边形的适宜性数值对区域编码(图 15.4)。

用现有弧段来创建区域比用多边形更繁琐些。对两个属于同一区域的邻接多边形，必须选中组成每个多边形的弧段并单独处理，方可支持弧段、多边形和区域的等级结构(图 15.5)。否则，区域可能不闭合。用前述的适宜性区域的例子，我们必须选中所有组成适宜性数值为 1 的多边形的弧段，来建立第一个区域，并重复同样步骤建立第二、第三个区域(图 15.6)。输出结果由非连续区域组成。同样，用连续选项是由该图层中定义每个多边形的弧段来建立区域。

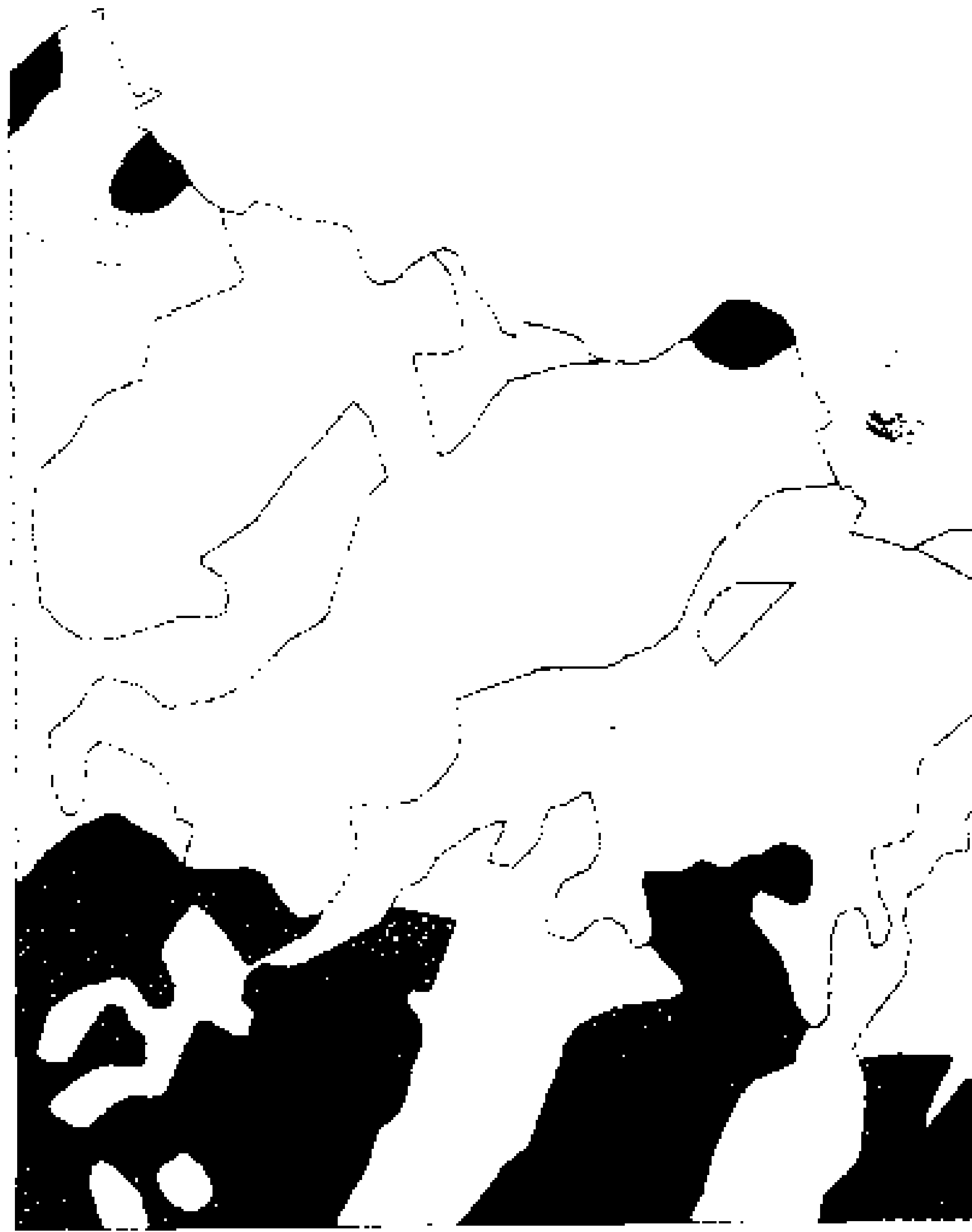


图 15.3 MAKEREGION 创建了一个区域子类，包含有适宜性数值为1的多边形。该区域子类是非连续的。

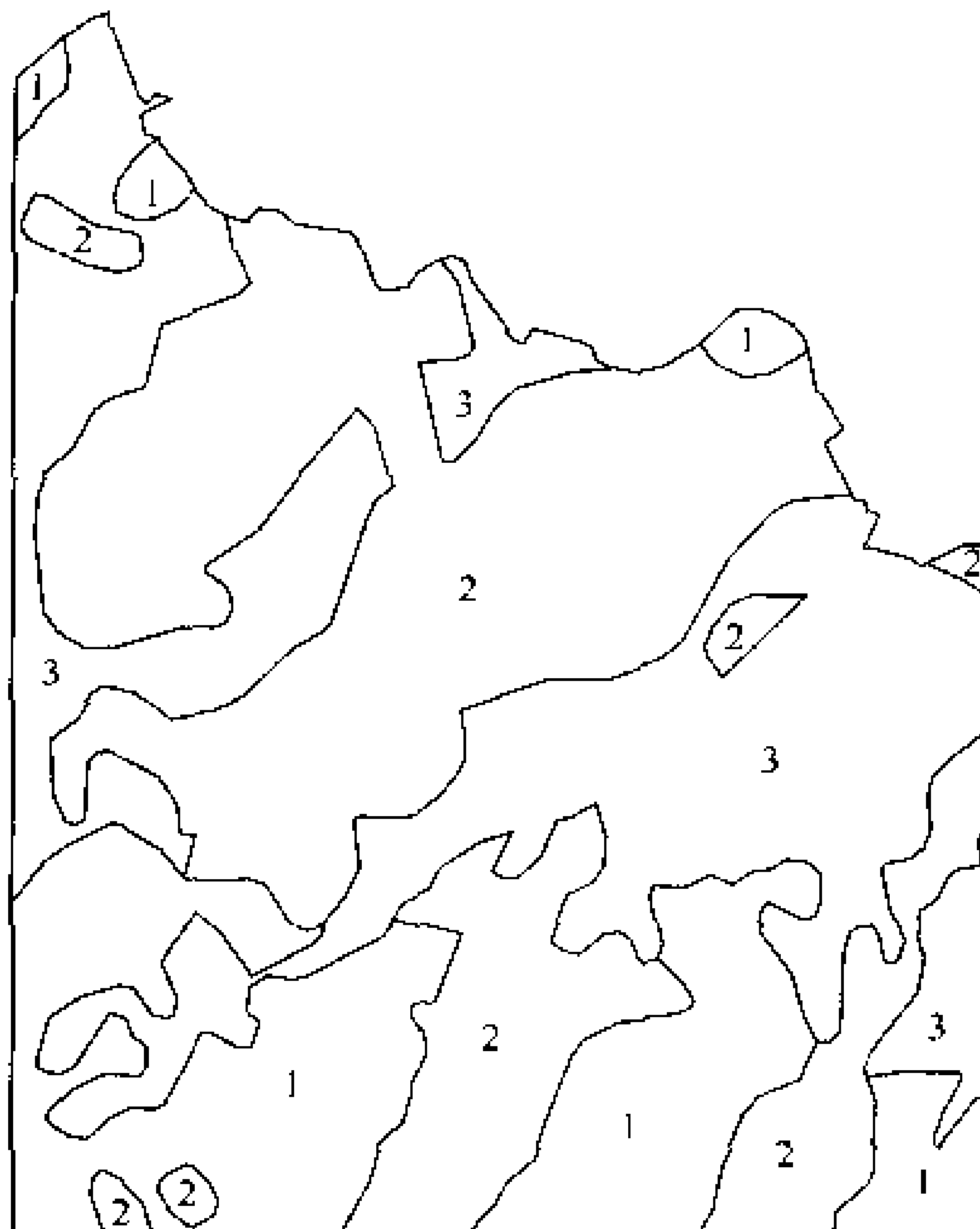


图 15.4 MAKEREGION 的连续选项将每个多边形转换成一个区域。

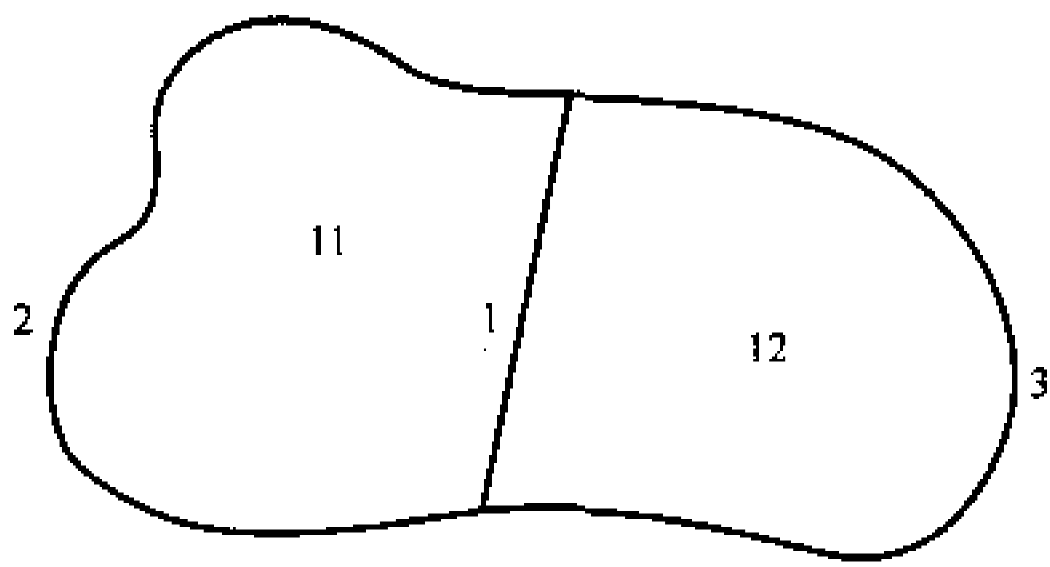


图 15.5　多边形 11 与多边形 12 共享弧段 1。弧段 1 必须被选中，并经两次处理以完成区域数据模型所用的弧段、多边形和区域这样一个等级数据结构。

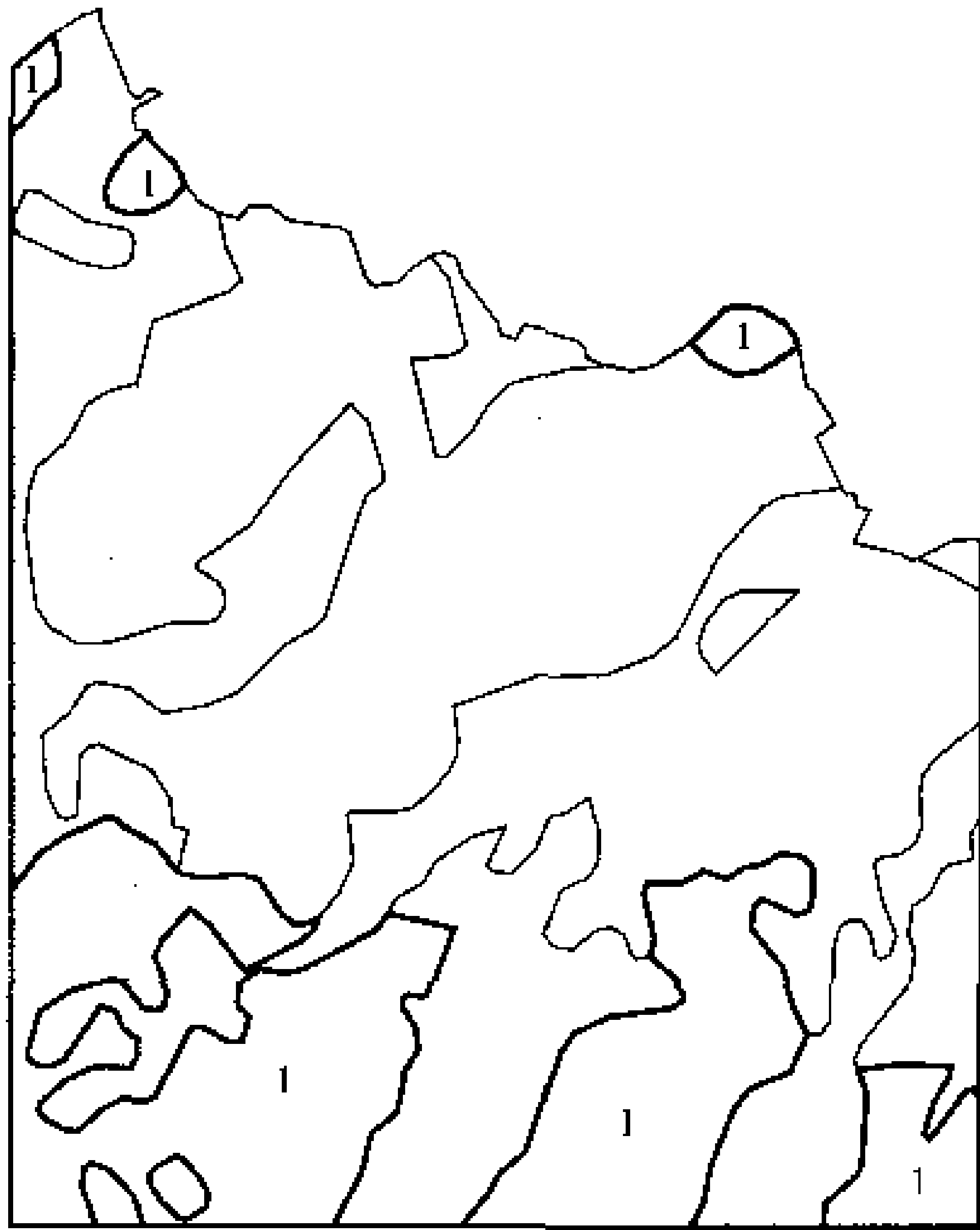


图 15.6　为了用数值为 1 的多边形的组成弧段来创建一个区域，首先选中这些弧段（粗线），并使用 MAKEREGION 命令。

15.4.2　由数据转换创建区域

区域可由多边形或弧段转换而来。有几个 ARC/INFO 命令能完成这种转换。POLYREGION 将多边形图层转换成区域子类，图层中的每个多边形都转成一个区域。换言之，POLYREGION 用连续选项，并用"一对一"关系将多边形转成区域来创建区域子类。

REGIONCLASS 将弧段转成区域，这个过程较为复杂，因为它必须支持弧段、多边形、区域的等级数据结构，并对 PAL（多边形弧段清单）文件和 RXP（区域子类参照表）文件进行操作（注释栏 15.3）。PAL 文件包含了每个区域的弧段清单，而 RXP 文件把区域与多边形建立关联作为区域子类。如果数据是 x、y 坐标并已经存成文本文件，则采用

本方法为最佳。

将现有弧段转换成区域

以下说明在 ARC/INFO 中用 REGIONCLASS 将现有弧段转成区域的步骤。

1. 用相同的 ID 值对构成区域组分的所有弧段编码。例如，在上述适宜性例子中，组成第一个区域的所有弧段必须有相同的 ID 值 1，其余类推（图 15.7）。
2. 用 GENERATE 命令将数据文件转换成线图层。
3. 建立线图层的拓扑关系，并确认属性表中的 ID 项依区域而区分弧段，使得组成 region 1 的所有弧段都以 1 为 ID 值，其余类推。
4. 用 ID 项作为输入项，用 REGIONCLASS 命令由线图层中的弧段创建初始区域。
5. 用 CLEAN 命令来建立初始区域的拓扑关系，即构建 RXP 文件，并完成转化过程。

如果组成区域的弧段没有正确闭合，产生的过伸和未及没有被图层清除错误所注意，该区域将会有拓扑错误。

```
          1
          4111.058105    7188.290039
          4125.195801    7126.065918
          4121.023926    7073.250000
          4075.225098    7039.095215
          4051.218994    6993.986816
          4013.513916    6957.342773
END
          1
          4111.058105    7188.290039
          4011.874023    7100.367188
          4013.513916    6957.342773
END
          1
          4404.659180    6859.535156
          4382.346191    6902.346191
          4329.016113    6954.854980
          4322.033203    6974.992188
END
⋮
```

图 15.7 用于创建区域的文本文件中，必须含有组成一个区域全部弧段的同一 ID 值（本例为 1）。

矢量数据产品格式(VPF)是国家图像与制图局(NIMA)用于海量地理数据库的标准格式(参见第 4 章)。VPFIMPORT 是一个 ARC/INFO 命令，它能将 VPF 文件转成 ARC/INFO 图层。如果 VPF 文件包括多种要素，例如，含有行政区边界、海洋边界和内陆水域边界的边界文件，VPFIMPORT 用区域子类属性表来将它们分开。

15.4.3 用关联表创建区域

用关联表创建区域是很独特的。该方法只以区域数据模型方可实现，因为关联表能引导 ARC/INFO 如何去构建 RXF 文件。REGIONJOIN 命令有如下要求：① 必须有区域子类出现。②区域子类与关联表之间的关系必须被建立(参见第 6 章)。关联表可与现有图层驻存在同一工作空间或以外部数据库存在。

图 15.8 说明 REGIONJOIN 是如何工作的。图 15.8(a)显示一个现有区域子类的名为 soils1 的属性表。为了在 soils1 和适宜性表之间建立相关关系，我们可用 soils1-id 作为关键

字或关联项(图 15.8(b))。在 soils1 的属性表和适宜性表之间存在"一对一"的关系。但是适宜性表只包括 1、2 和 3 三种适宜值。当 soils1 和关联表用于创建一个名为 soils2 的新区域子类时，REGIONJOIN 用非连续选项把 soils1 中具有相同适宜值的区域组成 soils2 中的一个区域。soils2 只有三个值，因此有三个区域，每个区域在空间上具有不连贯组分(图 15.8(c))。

(a)

面积	周长	Soils1#	Soils1-ID
508308.531	8336.992	1	2
14021.991	553.177	2	3
19000.115	531.830	3	4
23931.438	673.881	4	5
1283917.250	8736.511	5	6
58753.410	1519.348	6	7
22764.352	577.357	7	8
833005.563	9419.269	8	9
8438.227	412.599	9	10
18385.139	606.922	10	11
188282.297	3157.877	11	12
303357.188	3476.662	12	13
86360.703	1849.829	13	14
516075.688	6647.514	14	16
301924.563	3017.327	15	17
90327.867	1566.401	16	18
11328.362	395.495	17	19
13428.370	470.184	18	20

(b)

Soils1-ID	Suit
2	3
3	1
4	1
5	2
6	2
7	3
8	1
9	3
10	2
11	2
12	2
13	2
14	3
16	1
17	1
18	1
19	2
20	2

(c)

面积	周长	Soils2#	Soils2-10	Suit
1486428.250	21125.438	1	1	3
964114.563	12893.606	2	2	1
1851068.250	17930.133	3	3	2

图 15.8 REGIONJOIN 由关系表格中创建区域。Soils1-ID 将区域子类属性表(a)与适宜性表(b)关联起来。表(c)是新区域子类的属性表。

如果在区域和关联表之间存在"一对多"关系，REGIONJOIN 在输出结果中将该区域复本堆叠并列出每个复本的不同属性值。除了以下两点外，图 15.9 与图 15.8 相同：① 关联表为作物表；② soils1 中的一个区域(soils1-id ＝ 10)有三个值（2、3 和 1）。由 REGIONJOIN 创建的新区域子类 Soils3 有 5 个区域（图 15.9(c)）。头两个为soils1-id ＝ 10 的重复并分别有 3 和 1 为 soils1_crop 值。另一个 soils1-id ＝ 10(soils1 crop 值为 2)的重复被并入 soils3 中的其他区域组分。

(a)

面积	周长	Soils 1#	Soils1-ID
508308.531	8336.992	1	2
14021.991	553.177	2	3
19000.115	531.830	3	4
23931.438	673.881	4	5
1283917.250	8736.511	5	6
58753.410	1519.348	6	7
22764.352	577.357	7	8
833005.563	9419.269	8	9
8438.227	412.599	9	10
18385.139	606.922	10	11
188282.297	3157.877	11	12
303357.188	3476.662	12	13
86360.703	1849.829	13	14
516075.688	6647.514	14	16
301924.563	3017.327	15	17
90327.867	1566.401	16	18
11328.362	395.495	17	19
13428.370	470.184	18	20

(b)

Soils1-ID	Crop
2	3
3	1
4	1
5	2
6	2
7	3
8	1
9	3
10	2
10	3
10	1
11	2
12	2
13	2
14	3
16	1
17	1
18	1
19	2
20	2

(c)

面积	周长	Soils3#	Soils-ID	Crop	Soils1-crop
8438.227	412.599	1	1	2	3
8438.227	412.599	2	2	2	1
1486428.250	21125.438	3	3	3	3
964114.563	12893.606	4	4	1	1
1851068.250	17930.133	5	5	2	2

图 15.9　对于 soils1-ID＝10，区域子类属性表(a)与适宜性表(b)之间存在"一对多"关系。REGIONJOIN 对 soil1-ID＝10 建立了 3 个区域的堆叠。表(c)的头两个记录显示了其中的两个，第三个并入 crop＝2 的区域。

15.4.4 用基于区域的命令创建区域

基于区域的命令能通过查询和分析现有图层或区域子类来创建区域。本章后面将涉及这些命令。

15.5 淘汰或转换区域

在一个综合图层中的区域子类可被淘汰或转成多边形图层或 shapefiles 文件。ARC/INFO 命令 ROPFEATURES 可淘汰综合图层中区域子类的几何特征与属性。REGIONPOLY 能将区域子类转成多边形图层。

在 ArcView 中，区域子类作为专题加入并激活后，可被转成多边形 shapefile 文件。ArcView 的 MIFSHAPE 是一个独立应用程序，它能将 MapInfo 交换格式(MIF) 文件转成 ArcView 的 shapefile 文件。MIF 文件用区域而不用多边形。MIFSHAPE 把在 MapInfo 中创建的区域要素转换成多边形。

15.6 用区域管理属性数据

综合图层包括多边形图层和区域子类。多边形图层有其自己的属性表，每个区域子类也有其自己的属性表。区域子类属性表的命名规则是以图层名作为前缀，后加 PAT 字符串和区域子类名作为扩展名。例如，文件名 all.patveg 指在多边形图层 all 中的区域子类 veg 的属性表。图层 all 还有其他的区域子类如 soil 和 elev，每个图层都有其自己的 PAT 文件（图 15.10）。

all.pat——多边形图层 all 的属性表
all.patveg——驻存于多边形图层 all 中的区域子类 veg 的属性表
all.patsoil——驻存于多边形图层 all 中的区域子类 soil 的属性表
all.patelev——驻存于多边形图层 all 中的区域子类 elev 的属性表

图 15.10 综合多边形图层 all 的 PAT 表及其区域子类：veg、soil 和 elev。

一个区域子类的 PAT 与多边形图层和其他区域子类都是分开来维护和管理的。每个区域子类的 PAT 可以有其自己的、与其他 PAT 不同的属性，在关系数据库中能起关联作用。简而言之，每个区域子类在 GIS 运算中可作为单独图层来处理。

15.7 基于区域的查询和叠加

逻辑表达式可用于查询区域子类属性表。其步骤与查询多边形属性表相同。由于区域子类被综合到多边形图层中，本节将讨论另一种查询—基于区域的查询。这种查询实际上是将多边形图层叠加，选择多边形子集或区域，将选择的结果存为新的区域子类。ARC/INFO 有两个命令，AREAQUERY 和 REGIONQUERY，能执行叠加、查询和区域

子类的创建。

AREAQUERY 用一组多边形图层作为输入，并分两个步骤对输入的图层进行处理。首先，它将每个图层转成区域图层，并将结果保存为综合多边形图层的区域子类；第二，AREAQUERY 用逻辑表达式来对现有的区域子类进行运算，并将结果保存为新的区域子类。AREAQUERY 的第二个步骤与 REGIONQUERY 相同。

REGIONQUERY 执行查询，并从多边形图层或含有区域子类的综合图层来创建区域。假设一个多边形图层用三个项目记录了过去火灾情况：fire1 列出烧过一次的火灾发生年份，fire2 列出烧过两次的第二次火灾发生年份，fire3 列出烧过三次的第三次火灾发生年份。REGIONQUERY 用逻辑表达式 fire1＞ 0 AND fire2＞ 0，能创建烧过两次地区的区域子类。

假设一个综合图层名为 allcov，它是用 AREAQUERY 创建的，有三个区域子类，分别是 elev（高程）、strmbuf（河流缓冲区）和 slope（坡度）。每个区域子类属性表中的属性数据显示在表 15.1。以下说明用 REGIONQUERY 创建区域子类的两个例子。第一个例子是创建一个新的区域子类，它包括落在高程带和并落在河流缓冲区内的区域范围：

表 15.1 区域子类属性字段和字段说明：elev、strmbuf 和 slope

区域子类	属性项目	项目值说明
高程(elev)	带(zone)	1 - 小于 3 000 ft 2 - 3 000 ～ 4 000 ft 3 - 大于 4 000 ft
河流缓冲区(strmbuf)	在…之内(inside)	100 - 在缓冲区内 1 - 在缓冲区外
坡度(slope)	坡度代码(slope-code)	1 - 小于 20% 2 - 20%—40% 3 - 40%—60% 4 - 大于 60%

elev. zone = 2 AND strmbuf. inside = 100

以上表达式看起来与任何一个逻辑表达式相同，除了 elev. zone 和 strmbuf. inside 的操作数。每个操作数包括两个部分：第一部分指区域子类，第二部分指区域子类中的项目。

第二个例子是创建一个新的区域子类，它包括了落在高程带 2、具有坡度为 1 且在河流缓冲区之外的区域范围：

elev. zone = 2 AND slope. slope-code = 1

NOT $strmbuf

表达式中的 $strmbuf 意味着 strmbuf 子类中的所有区域要素都用在该选择中。布尔联结符 NOT 否定了 $strmbuf，表示该选择排除了被 strmbuf 子类覆盖的区域。

上例表明 AREAQUERY 将地图叠加和属性数据查询结合成一个命令，这对于传统的基于矢量的叠加分析提供了一种替代方法，传统的基于矢量的叠加分析方法中，地图叠加运算与属性数据查询是分离的（参见第 10 章）。与传统的基于矢量的叠加分析相比，AREAQUERY 还有两个优点：首先，AREAQUERY 在一次操作中可对多达 32 个图层进行叠加；第二，当 REGIONQUERY 用于由 AREAQUERY 创建的综合图层操作时，能基于不同的选择指标来创建附加的区域子类。这些区域子类（全都驻留在同一个多边形图层中）在决策过程中可用作方案。

然而，基于区域的操作在三个方面不同于传统的基于矢量的叠加分析。首先，基于区域的操作限于多边形图层，而传统地图叠加分析可用于点、线和多边形图层；第二，基于区域的操作用逻辑表达式和适当的布尔连接符 AND、OR、XOR 和 NOT 来实现 UNION、INTERSECT 和 IDENTITY 等叠加方法。注释栏 15.4 显示了用布尔连接符选择区域的另一些例子；第三，AREAQUERY 允许用户对输入图层赋予相对权重来影响其在线节点捕捉（line snapping）中的重要性。当叠加输出结果中的弧段落在指定的模糊容差之内就会发生线节点捕捉。权重较大的图层的线较难被捕捉到权重较小的图层的线。

注释栏 15.4　用逻辑表达式选择区域

图 15.11（a）显示了两个区域子类：用细线表示的高程带（elev）和用粗线表示的河流缓冲带（strmbuf）。注意到河流缓冲带的范围稍微超出了高程带范围。逻辑表达式 $elev OR $strmbuf 与 UNION 运算完全相同，结果显示在图 15.11（b）。如果表达式改成 $elev AND $strmbuf，或 INTERSECT 运算，运算结果如图 15.11（c）。15.11（d）显示了表达式（$elev AND $strmbuf）OR $elev，或用 elev 作为输入图层的 IDENTITY 运算的估算值。

XOR 和 NOT 将更多的变量加入到基于区域的运算。如果执行了布尔表达式 $elev XOR $strmbuf，结果如图 15.12 所示。输出结果保留了输入的区域子类的地图要素（两个区域子类的叠加范围除外）。图 15.13 显示了 $elev NOT $strmbuf 运算的输出结果。落在 strmbuf 内的区域子类 elev 的区域要素从输出结果中去除。

15.8 ARC/INFO 中基于区域的工具

除了叠加和查询，ARC/INFO 还有其他的基于区域的工具用于边界融合、建立缓冲和在区域子类间进行面积数据制表。REGIONDISSOLVE 对指定项目含有相同数值的区域和多边形聚合起来，把输出结果存成新的区域子类。

REGIONBUFFER 围绕点、线、多边形或区域创建缓冲区，把输出结果存入区域子类。就像 BUFFER 命令（参见第 10 章），REGIONBUFFER 允许用恒定缓冲距离或不同的缓冲距离。但 REGIONBUFFER 与 BUFFER 在两个方面有所不同。首先，围绕单独地图要素创建的缓冲带可以是非连续和连续的。非连续的意味着每个缓冲带独立维护。连续的意味着叠加的缓冲带已经过边界融合而创建了空间上连接的缓冲带；第二，REGIONBUFFER 把输入和输出的地图特征结合起来（图 15.14）。为了保留输入图层，

(a)

(b)

(c)

(d)

图 15.11 逻辑表达式用于如图(a)不同线条粗细所示的两个区域子类,来模拟 UNION(b)、INTERSECT(c)和 IDENTITY(d)等叠加方法。

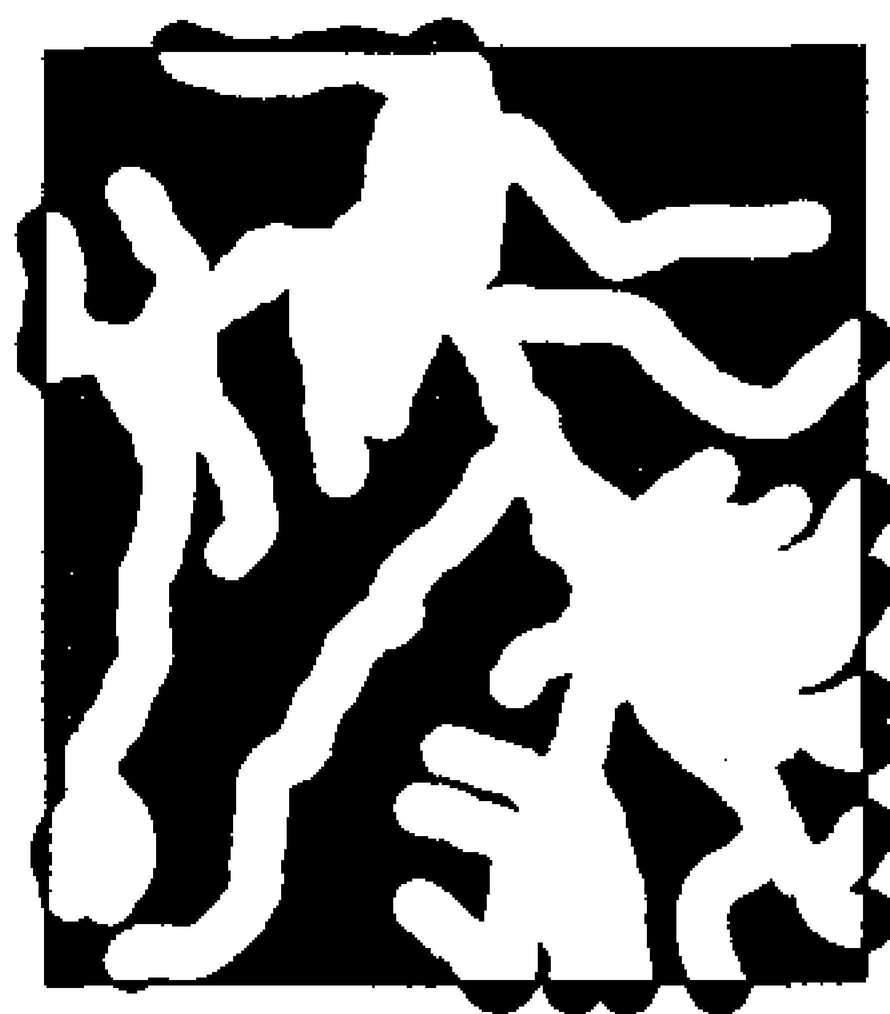


图 15.12 XOR 连接符保留了图 15.11 中的两个区域子类(阴影的)除叠加范围以外的地图要素。

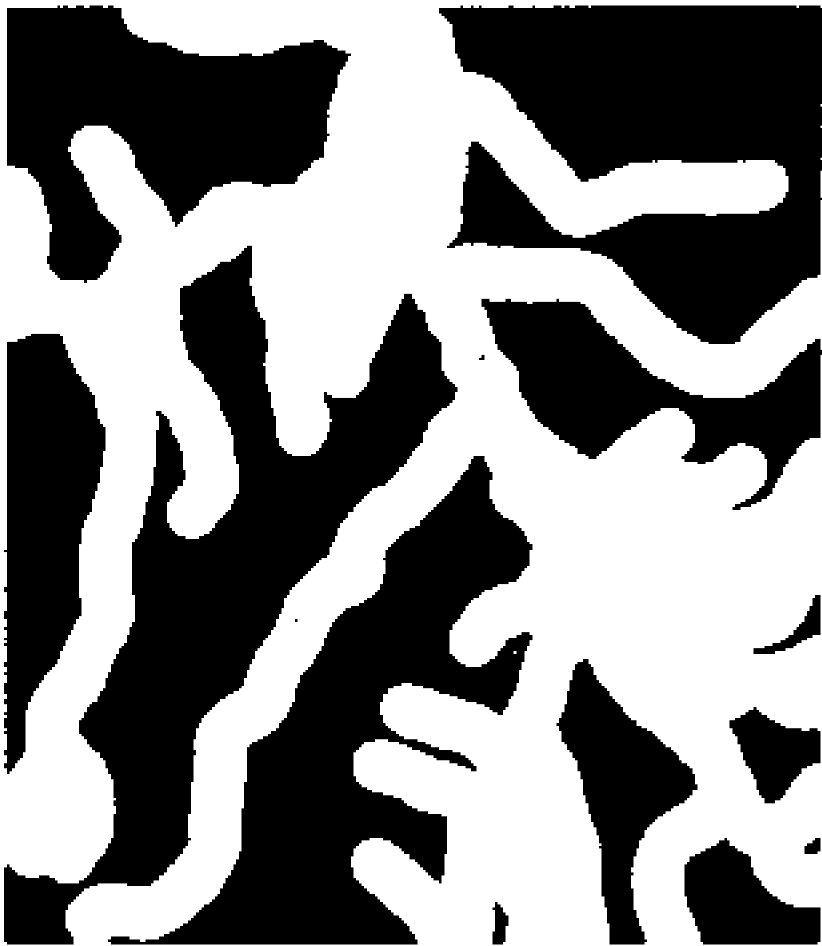


图 15.13 NOT 连接符从输出结果中除去了落在图 15.11(a)的 strmbuf 之内的地图要素。

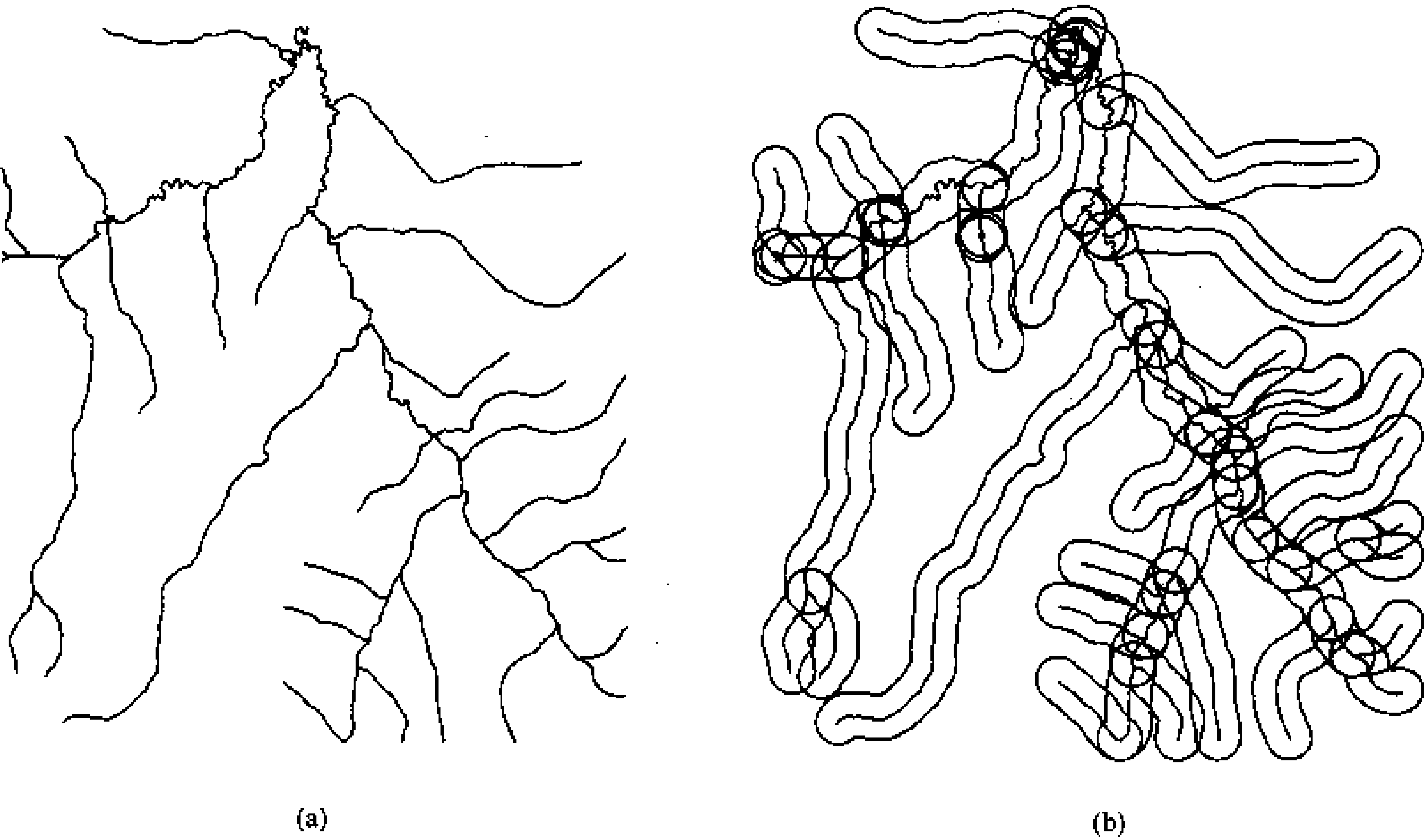


图 15.14 REGIONBUFFER 把输入图层(a)的地图要素结合到输出的多边形图层(b)。

用户必须为输出指定一个新的图层。

REGIONXAREA 对一个综合图层中区域子类的所有叠加复合进行制表，对每个复合列出叠加面积，以及第一个区域子类叠加于第二个之上的百分比。表 15.2 显示对一个含有三个区域子类的小图层运行 REGIONXAREA 的输出结果。fire1 的区域子类覆盖整个范围。fire12 的区域子类有两个区域。fire123 的区域子类有一个区域。表中的第一个记录显示 fire1 的 43.15% 与 fire12 的第一个区域叠加。第二个记录显示 fire1 的 18.48%与 fire12 的第二个区域叠加，其余类推。

表 15.2 从 REGIONXAREA 输出结果的例子

Subclass1	Subclass1#	Subclass2	Subclass2#	面积	百分比
fire1	1	fire12	1	6 325 234.000	43.15
fire1	1	fire12	2	2 709 613.500	18.48
fire1	1	fire123	1	963 893.500	6.58
fire12	1	fire1	1	6 325 234.000	100.00
fire12	2	fire1	1	2 709 613.500	100.00
fire12	2	fire123	1	963 893.500	35.57
fire123	1	fire1	1	963 893.500	100.00
fire123	1	fire12	2	963 893.500	100.00

重要概念和术语

等级区域：代表一个等级系统的不同空间尺度。

非连续区域：含有空间上有不连贯组分的区域。

可修改区域单元问题(MAUP)：与单元定义的影响有关的问题，数据是以定义的单元内采集的，且空间数据聚合的层次影响空间分析的结果。

连续区域：空间上有共同组分的区域。

均匀区域：具有相似特征的地理区域。

综合图层：含有内置区域层次的多边形图层。

应用：区域

本章应用部分包括五个习作。习作1是说明如何用 ArcView 显示和查询区域。虽然 ArcView 不能用于创建区域，但它能把区域子类作为专题来处理。其余几个习作应用 ARC/INFO。习作2和习作3关注于如何创建区域，习作4和习作5分别是区域叠加制表和完成基于区域的叠加。

习作1 在 ArcView 中显示和查询区域

所需数据：名为 intcov 的基于区域的图层文件。

综合多边形图层 intcov 有6个区域子类：来自土地利用图层的 land，来自土壤图层的 soil，来自河流缓冲区图层的 stream，来自下水道缓冲区图层的 sewer，来自基于区域查询结果的 potsites 和 finalsites。本习作目的是在 ArcView 中显示和查询区域。

1. 启动 ArcView 并打开一个新视窗。点击 Add Theme 按钮，在 Add Theme 对话框中，点击 intcov 旁的图标打开一系列包含在 intcov 中的专题，包括：region.finalsites、region.land、region.potsites、region.sewer、region.soil、region.stream、polygon 和 labelpoint。前6个是这个图层中的区域子类，后两个用于图层本身。把除 labelpoint 外的所有专题加到视图。

2. 激活 region. soil 并打开它的专题属性表。该表包括了土壤属性 soilcode 和 suit。用 Query Builder 进行查询:suit = 2。在 region. soil 中所有 suit 值为 2 的多边形被加亮显示。区域子类可如同常规专题一样用于显示和查询。
3. 激活 region. potsites 并打开其专题属性表。点击 Query Builder 并设置查询表达式为 area > 2000。该查询操作从 region. potsites 的 10 个多边形中选出了 7 个。如果查询的结果以一个新的 shapefile 文件保存,那么这个文件与 region. finalsites 相同。

习作 2 在 ARC/INFO 中由现有多边形创建区域

所需数据:名为 landuse 的多边形图层。

本习作要你用图层 landuse 中 lucode 数值为 700 的多边形创建区域。进入 ArcEdit 并设置编辑环境:

```
Arcedit : display 9999
    Arcedit: mapextent landuse
    Arcedit: editcov landuse
    Arcedit: drawenv poly label
    Arcedit: draw (画出 landuse 的多边形和标注)
    Arcedit: editfeature label
    Arcedit: select lucode = 700(选择 lucode = 700 的标识点)
    Arcedit: drawselect(加亮选上的标识点)
    Arcedit: editfeature polygon(把编辑要素改为多边形)
    Arcedit: select many(点击先前加亮的标识点,键入 9 离开)
    Arcedit: makeregion marsh(从选上的多边形创建名为 marsh 的区域)
    Arcedit: quit(将已作的改动存盘)
    Arc: describe landuse
```

DESCRIBE 命令提供了图层 landuse 的说明及其内容。要素类型应该包括区域,子类应该列出 marsh(湿地)。键入"list landuse. patmarsh"来查看 marsh subclass' PAT。在 PAT 中只列出一个记录,因为用非连续选项把三个多边形组成了一个区域。

习作 3 用基于区域的命令创建区域

所需数据:名为 fire 的多边形图层。

图层文件 fire 表示在一个国家林区的火灾记录。三个属性项目(fire1、fire2 和 fire3)记录了在给定多边形内的三次火灾事件的时间。例如,某多边形在 1909 年、1923 年和 1970 年有火灾记录,那么在 fire1、fire2 和 fire3 项目下相应有数值 1970 年、1923 年和 1909 年。本习作的目的是用 REGIONDISSOLVE 命令来创建区域子类。

```
Arc: regiondissolve
Usage: REGIONDISSOLVE <in_cover> {out_cover} <out_subclass> <dissolve_item | #ALL> {POLY | REGION. Subclass}
Arc: regiondissolve fire # fire2 fire2
```

在图层 fire 中，REGIONDISSOLVE 用融合项目 fire2 来创建名为 fire2 的区域子类。你可用 ArcTools(ARC/INFO 的图形用户界面)来显示区域子类 fire2：

1. 在 Arc 提示符后键入 arctools。从 ArcTools 菜单中选择 Map Tools。然后从 Map Tools 对话框的 View 菜单中选择 New。再在 Theme Manager 菜单中选择 New。
2. 在 Add New Theme 对话框中，选择 图层 作为类型，Region 作为专题类型。
3. 在 Region Theme Properties 对话框中，键入 fire2 作为标识符，fire 作为数据源，fire2 作为区域，选择红色作为画区域的记号。点击 Preview 来查看 fire2 区域子类。

现在，进入 Tables。在 Table 环境下，用 dir 命令来显示你工作空间中所有的 INFO 文件。你应该可以看到 fire.pat 和 fire.patfire2。

```
Tables: select fire.patfire2 (选择 fire2 的多边形属性表 PAT)
Tables: list (列出 PAT 表中的记录)
```

你可用 DROPFEATURES 命令从 fire 图层中去除 fire2 区域子类：

```
Arc: dropfeatures
Usage: DROPFEATURES <cover> <feature_class> {ATTRIBUTE |
GEOMETRY}
Arc: dropfeatures fire region.fire2
```

REGIONQUERY 是另一个基于区域的命令，它能创建区域。REGIONQUERY 用逻辑表达式来选择组成区域的多边形。下面，REGIONQUERY 从图层 fire 创建 fire1、fire12 和 fire123 的嵌套区域。fire1 区域图层代表曾经被火烧过一次的地方，fire12 代表曾经被火烧过二次的地方，fire123 代表曾经被火烧过三次的地方。这三个图层彼此叠加，形成一组嵌套区域。

```
Arc: regionquery
Usage: REGIONQUERY <in_cover> {out_cover} <out_subclass>
{selection file}{NONCONTIGUOUS | CONTIGUOUS} {out_item...out_
item}
Arc: regionquery fire # fire1 # # fire1
>: reselect fire1 > 0
>:
Arc: regionquery fire # fire12 # # fire1 fire2
>: reselect fire1 > 0 and fire2 > 0
>:
Arc: regionquery fire # fire123 # # fire1 fire2 fire3
>: reselect fire1 > 0 and fire2 > 0 and fire3 > 0
>:
```

现在用 ArcTools 显示嵌套区域 fire1、fire12 和 fire123：

1. 在 Arc 提示符后键入 arctools。从 ArcTools 菜单中选择 Map Tools。从 View 菜单的 Map Tools 对话框中选择 New。再在 Theme Manager 菜单中选择 New。

2. 在 Add New Theme 对话框中选择图层作为种类，选择 Region 作为专题类型。
3. 首先在 Region Theme Properties（区域专题属性）对话框中为 fire1 设置绘图环境，输入 fire1 作为 Identifier，fire 作为 Data Source，fire1 作为 Region 。选择红色作为绘制区域的记号，点击 OK。
4. 重复步骤 2 和步骤 3 来为 fire12 设置绘图环境。键入 fire12 作为标识符，fire 作为数据源，fire12 作为区域。选择绿色作为记号，点击 OK。
5. 重复步骤 2 和步骤 3 来为 fire123 设置绘图环境。在区域专题属性对话框中，输入 fire123 作为标识符，fire 作为数据源，fire123 作为区域。选择蓝色作为记号，点击 OK.
6. Fire1、fire12 和 fire123 现列于 Theme Manager 对话框的 Themes 下。用箭头按钮把三个区域图层移动到 Draw List 下，然后点击 Draw 按钮，用三种不同颜色显示区域图层。

你可列出包括在每个区域子类的 PAT 中的 Arc 或 Tables 属性。

```
Arc: list fire.patfire12
Arc: list fire.patfire123
```

习作 4 区域叠加制表

所需数据：名为 sfire 的多边形图层。

ARC 命令 REGIONXAREA 运行宏 AML，列出所有可能的区域叠加及其面积和百分比，结果存在 INFO 文件中。INFO 文件可能很大，取决于区域子类的数目和每个子类中的区域数目。在本习作中，你将使用一个名为 sfire 的小图层，使你能更好理解 REGIONXAREA 是如何运行的。

1. 用 ArcTools 来显示在 sfire 中嵌套的区域子类。
2. 现在，运行 Arc 中的 REGIONXAREA。不要管 REGIONXAREA 运行时出现的信息。

```
Arc: regionxarea
  Usage: REGIONXAREA <in_cover> <out_info_file> {$ALL |
  subclass...subclass}
Arc: regionxarea sfire sfire.dat
```

3. 列出由 regionxarea 创建的 INFO 文件。

```
Arc: list sfire.dat
```

在 sfire.dat 中的每个记录代表一个区域叠加。Subclass1 和 subclass2 是叠加的两个区域子类。Subclass1# 和 subclass2# 列出叠加的区域。面积是叠加部分的大小，百分数表示 subclass1# 叠加于 subclass2# 面积百分比。例如，在 sfire.dat 中的第一个记录显示 fire1 的 43.15% 与第一个区域 fire12 叠加，第二个记录显示 fire1 的 18.48% 与 fire12 的第二个区域叠加。

习作 5 完成基于区域的叠加

所需数据：landuse、soils、strmbuf 和 sewerbuf 等四个图层文件。

如本章所述，AREAQUERY 可在一次运算中执行地图叠加和数据查询。AREAQUERY 与传统的叠加方法均为 GIS 分析的可选方法。本习作以下列选择指标模拟一个适宜性分析：

- 土地利用状况为灌木林地(landuse 中的 lucode = 300)
- 土壤类型适于开发 (soils 中的 suit >= 2)
- 地点必须在距现有下水道管线 300m 范围之内 (sewerbuf)
- 地点必须距现有河道 20m 以外(strmbuf)
- 面积至少 $2000m^2$

Arc：areaquery

Usage：AREAQUERY <out_cover> <out_subclass> {tolerance}

{NONCONTIGUOUS|CONTIGUOUS} {out_item...out_item}

Arc：areaquery allcov potsites # contiguous (对 AREAQUERY 初始化)

对话命令 AREAQUERY 首先要求输入图层及其区域子类名称。

[Enter the 1st coverage:] landuse land (land 是 landuse 的子类名称)

[Enter the 2nd coverage:] soils soil (soil 是 soils 的子类名称)

[Enter the 3rd coverage:] sewerbuf sewer (sewer 是 sewerbuf 的子类名称)

[Enter the 4th coverage:] strmbuf stream (stream 是 strmbuf 的子类名称)

[Enter the 5th coverage:] end

AREAQUERY 接着询问逻辑表达式。逻辑表达式里的每个操作数都包含两部分：第一部分涉及区域子类，第二部分涉及区域子类的项目。逻辑表达式可包含 AND、OR、XOR 和 NOT 等布尔连接符。

>：resel land.lucode = 300 and soil.suit >=2 and $sewer and not $stream

>：[hit return]

Arc：list allcov.patpotsites

AREAQUERY 的输出保存在区域子类 potsites 中，它包含了满足前 4 个指标的地点。为完成整个习作，用 REGIONQUERY 选择面积大于 $2000m^2$ 的地点。

Arc：regionquery allcov # finalsites # contiguous

>：resel potsites.area > 2000

>：[hit return]

参考文献

Allen, T. H. F., and T. B. Starr. 1982. *Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity*. Chicago: The University of Chicago Press.

Amrhein C. G. 1995. Searching for The Elusive Aggregation Effect: Evidence from Statistical Simulations. *Environment and Planning* A 27: 105—119.

Bailey, R. G. 1976. *Ecoregions of the United States*. Map (scale 1 : 7 500 000). Ogden, Utah: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Region.

Bailey, R. G. 1983. Delineation of Ecosystem Regions. *Environmental Management* 7: 365—373.

Batty, M., and P. K. Sikdar. 1982a. Spatial Aggregation in Gravity Models. 1. An Information-Theoretic Framework. *Environment and Planning* A 14: 377—405.

Batty, M., and P.K. Sikdar. 1982b. Spatial Aggregation in Spatial Interaction Models. 2. One-dimensional Population Density Models. *Environment and Planning* A 14: 524—553.

Berry, B.J.L. 1968. Approaches to Regional Analysis: A Synthesis. In B.J.L. Berry and D.F. Marble (eds.). *Spatial Analysis: A Reader in Statistical Geography.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, pp. 24—34.

Clark, W.A.V., and K. L. Avery. 1976. The Effect of Data Aggregation in Statistical Analysis. *Geographical Analysis* 8: 428—437.

Cleland, D.T., R.E. Avers, W.H. McNab, M.E. Jensen, R.G. Bailey, T. King, and W.E. Russell. 1997. National Hierarchical Framework of Ecological Units. In M.S. Boyce and A. Haney (eds.). *Ecosystem Management Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources.* New Haven, CT: Yale University Press, pp. 181—200.

Costanza, R., and T. Maxwell. 1994. Resolution and Predictability: An Approach to the Scaling Problem. *Landscape Ecology* 9: 47—57.

Forman, R.T.T., and M. Godron. 1986. *Landscape Ecology.* New York: John Wiley & Sons.

Fotheringham, A.S., and D.W.S. Wong. 1991. The Modifiable Areal Unit Problem in Multivariate Statistical Analysis. *Environment and Planning* A 23: 1025—1044.

Gehlke, C.E., and K. Biehl. 1934. Certain Effects of Grouping Upon the Size of the Correlation Coefficient in Census Tract Material. *Journal of the American Statistical Association* 24:169—170.

Goodchild, M.F. 1979. The Aggregation Problem in Location-Allocation. *Geographical Analysis* 11: 240—255.

Jelinski, D.E., and J. Wu. 1996. The Modifiable Areal Unit Problem and Implications for *Landscape Ecology. Landscape Ecology* 11:129—140.

Khatib, Z., K. Chang, and Y. Ou. 2001. Impacts of Analysis Zone Structures on Modeled Statewide Traffic. *ASCE Journal of Transportation Engineering* 127: 31—38.

Meentemeyer, V., and E.O. Box. 1987. Scale Effects in Landscape Studies. In M.G. Turner (ed.). *Landscape Heterogeneity and Disturbance.* New York: Springer-Verlag, pp. 15—34.

Miller, H.J. 1999. Potential Contributions of Spatial Analysis to Geographic Information Systems for Transportation. *Geographical Analysis* 31: 373—399.

Omernik, J.M., 1987. Ecoregions of the Conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers* 77: 118—125.

O'Neill, R.V., D.L. DeAngelis, J.B. Waide, and T.F.H. Allen. 1986. *A Hierarchical Concept of Ecosystems.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Openshaw, S. 1977. Optimal Zoning Systems for Spatial Interaction Models. *Environment and Planning A* 9:169—184.

Openshaw, S., and P.J. Taylor. 1979. A Million or So Correlation Coefficients: Three Experiments on the Modifiable Areal Unit Problem. In N. Wrigley (ed.), *Statistical Applications in the Spatial Sciences.* London: Pion. pp. 127—144

Robinson, W.S. 1950. Ecological Correlation and The Behavior of Individuals. *American Sociological Review* 15: 351—357.

The National Atlas of the United States of America. 1970. Washington, D.C.: U.S. Geological Survey.

Urban, D.L., D. O'Neill, and H.H. Shugart. 1987. Landscape Ecology. *BioScience* 37: 119—127.

Walker, D.A., and M. D. Walker. 1991. History and Pattern of Disturbance in Alaskan Arctic Terrestrial Ecosystems: A Hierarchical Approach to Analysing Landscape Change. *Journal of Applied Ecology* 28: 244—276.

Wiens, J.A. 1989. Spatial Scaling in Ecology. *Functional Ecology* 3: 385—397.

Wiken, E.B., and G. Ironside. 1977. The Development of Ecological (Biophysical) Land Classification in Canada. *Landscape Planning* 4: 273—275.

Wong, D., and C. Amrhein. 1996. Research on the MAUP: Old Wine in a New Bottle or Real Breakthrough. *Geographical Systems* 3: 73—76.

第16章 网络和动态分段

16.1 引 言

网络由连接的线要素所组成。如道路系统是大家熟悉的网络，其他的网络还有铁路、公共交通、自行车线路、水系和岸线等。动态分段是一种建立在网络线上的数据模型，可以通过线要素的测度（如里程标志）来利用现实世界坐标（参见第3章）。通过应用动态分段模型，可以把线性参考数据（如事故和道路状况）链接到一个有地理坐标参考的道路网络中。

不管是网络模型还是动态分段模型都必须具有为实际应用的恰当属性。要运用一个道路网络，来查找路径或资源分布，就要把旅行时间、转弯阻抗和单行道等属性加到网络的弧段和节点上。另外，线性测度也必须加到道路网络的弧段上，这样在里程标志中测量的数据能直接链接到各段道路上。

本章分为五个部分。第一部分述及以爱达荷州莫斯科市为例的一个道路网络的制备。第二部分是关于网络分析和应用。第三部分讨论动态分段模型的建立。第四部分讨论线性参考数据与动态分段模型的链接。第五部评述动态分段的应用。

本章以ARC/INFO和ArcView为例。ARC/INFO既能运用网络和动态分段模型工作，也有建立动态分段的特定命令。ArcView的Network Analyst包含网络应用，但在进行动态分段时的能力比较有限。其他基于拓扑的GIS软件包也有内置的网络和分段功能。本章还述及能进行网络分析的MGE Network、PAMAP NETWORKER和TransCAD。MGE Segment Manager和TransCAD具有动态分段功能。

16.2 网 络

网络是线图层，具有拓扑属性和用于对象流（如交通）的适当属性。网络的几何形状可被数字化或由现有数据源导入。但一个网络必须具有实际应用的适当属性。因为许多网络应用都涉及道路系统，下面集中讨论道路网络的要素和属性数据，包括赋予网络链接、转弯、单行道、天桥和地下通道的阻抗值。最后以爱达荷州的莫斯科市为例说明如何将这些数据放到一起形成一个街道网络。

16.2.1 链路阻抗

链路是指在道路网络中被两个节点所分离的一条线段。**链路阻抗**是经过一条链路的成本。简单衡量成本的方法是测量链路的实际长度，但实际长度并不是真正的成本测度，特别在城市中不同街道的时速限制和交通状况有显著差异。链路阻抗的较好测度是由长

度和链路的时速限制来估算的旅行时间。例如，如果时速限制为 30mi/h 且长度为 2mi，那么该链路的旅行时间为 4min(即 2/30×60min)。

测量链路的旅行时间的方法有多种多样。旅行时间是有方向性的，即在一个方向的旅行时间可能不同于其他方向的。这样，旅行时间取决于弧段的方向，往与返要分开输入。另外，在一周中的不同日期和一天中的不同时段，旅行时间也可能不同，这就要求对不同的应用建立不同的网络属性数据。

16.2.2 转弯阻抗

转弯是网络中一个弧段到另一个弧段的过渡。**转弯阻抗**是完成转弯所需的时间，这在拥挤的街道网络中是很有意义的(Ziliaskopoulos 等 1996)。因为网络通常有许多不同情况的转弯，所以**转弯表**可用来赋予转弯阻抗值。一个转弯表有三个项目：交叉的节点数、转弯涉及的弧段数和转弯阻抗值。

转弯表必须用弧段数列出每个十字路口所有可能的转弯。司机在街道十字路口通常有三种选择：直行、右转和左转。有时还有第四个选择即完成一个 U 形转弯。假如一个十字路口涉及四个街道分段(如同大多数交叉路口)，就意味着在这里除 U 形转弯外至少有 12 种可能的转弯(图 16.1)。

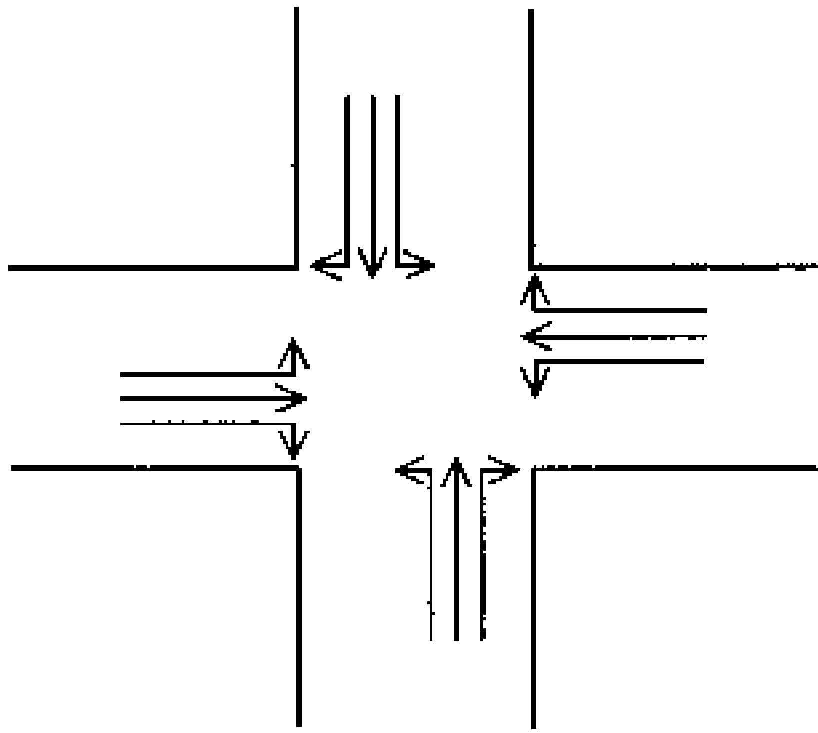


图 16.1 具有四个街道分段的十字路口处的可能转弯。本例中不允许 U 形转弯。

根据研究的详略水平，GIS 未必需要在转弯表中包括所有的十字路口和所有可能的转弯。对于网络应用，一般在转弯表中只列出十字路口的停车灯即够了。

转弯阻抗通常是有方向性的。例如，在停车灯处，直行可能要等 5s，右转要等 10s，左转要等 30s。转弯的负阻抗值意为禁止转弯，比如，误行到单行道上。

16.2.3 单行道或封闭的街道

单行道或封禁的街道可以用字段标示在网络属性表中。字段值可显示单行道的交通方向，如 FT 表示允许从弧段的始节点到终节点。TF 表示允许从弧段的终节点到始节点，而 N 表示在任何方向都不能通行。

16.2.4　天桥和地下通道

在网络中有两种方法来表示天桥和地下通道。第一种方法是用非平面的要素：天桥和其下的道路在它们的交叉处都表示无节点的连续路径(图 16.2)。第二种方法是把天桥和地下通道视为平面要素：如果代表天桥的两条弧段相交于一个节点，那么代表天桥下面的街道的两条弧段就相交于另一节点(图 16.3)。给弧段指派一个高程项：T-Elev 表示进入十字路口的弧段的海拔，F-Elev 表示离开十字路口的弧段的海拔。为了区分天桥与街道，可以赋予天桥的节点(1)比街道的节点(0)更高的高程值。

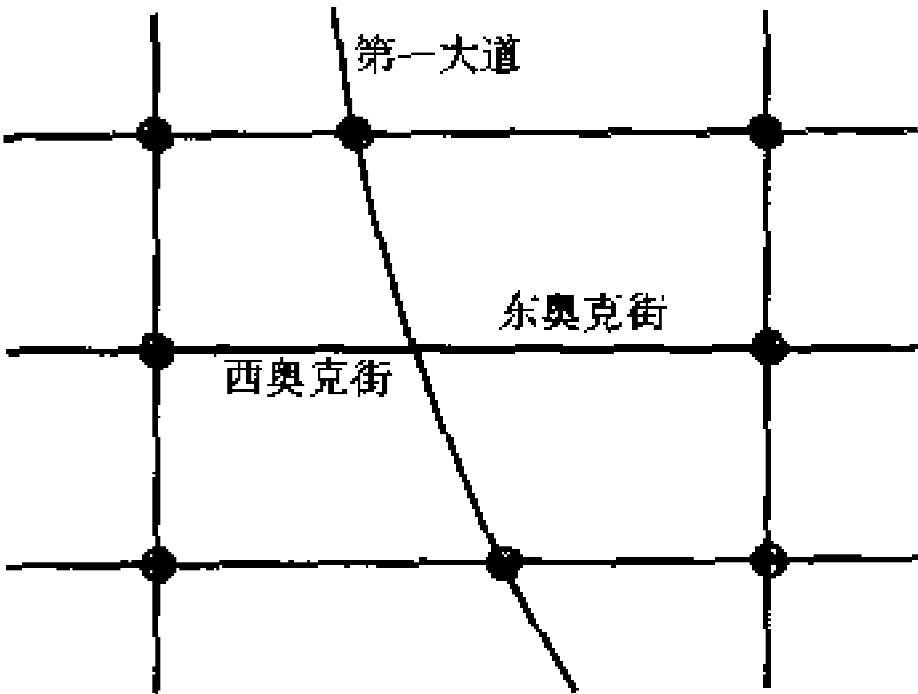
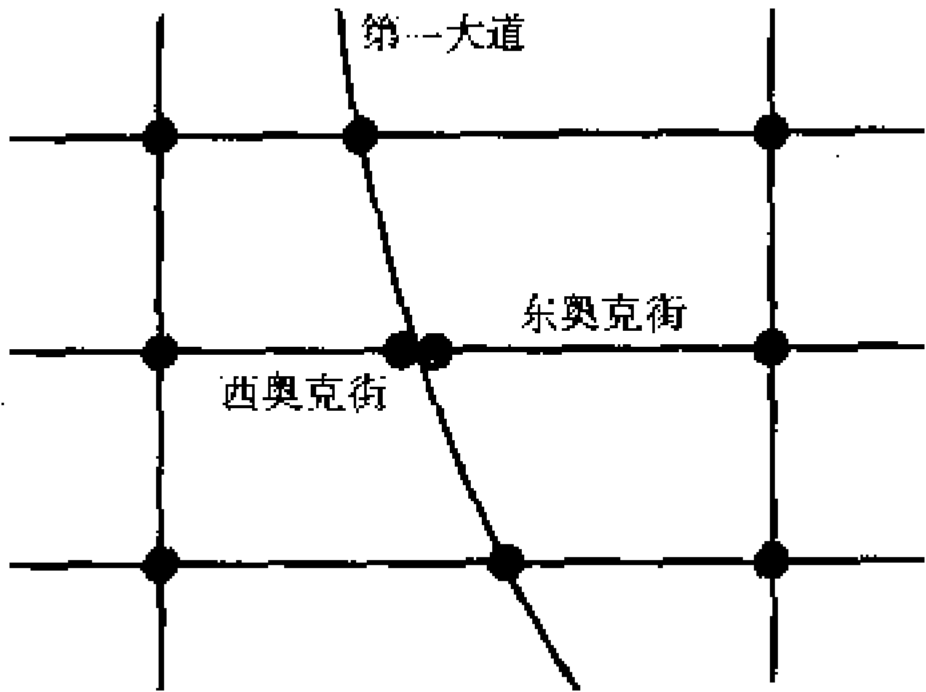


图 16.2　第一大道经天桥穿过奥克街。在奥克街和第一大道的交叉处采用不带节点的非平面表示法。



街道名	起点高程	终点高程
第一大道	0	1
第一大道	1	0
西奥克街	0	0
东奥克街	0	0

图 16.3　第一大道经天桥穿过奥克街。含两个节点的平面表示法用于交叉处：一个节点属第一大道，另一个节点属奥克街。高程值 1 表示该天桥是沿着第一大道的。

16.2.5　建立街道网络

用适合实际应用的属性来建立街道网络并不是一项简单的任务。下面说明在爱达荷州莫斯科市的例子中怎样完成这项任务。莫斯科是一座有 20 000 人口的大学城，除了天桥和地下通道外，本市多少具有和其他大城市相同的网络要素。

美国人口普查局的 TIGER/Line(拓扑统一地理编码格式/线)文件是街道网络的公共数据源。在本例子中的第一步是用 TIGER/Line 文件做一个初步的街道图层。TIGER/Line 文件以经纬度值为测量单位，以 NAD83 作为基准。因此，莫斯科市的街道图层必须转换成现实世界坐标系。

第二步是编辑和更新初步的街道图层。TIGER/Line 文件包含一张很长的属性数据清单，其中许多与网络应用无关的可以删除。从 TIGER/Line 文件转移到街道图层上的

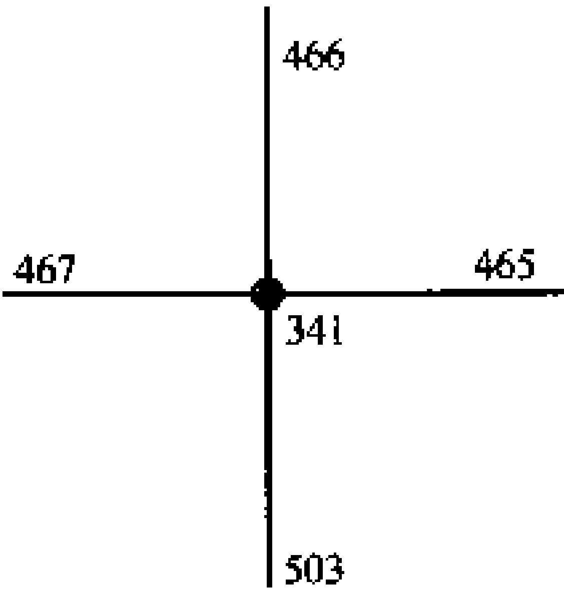
错误必须纠正,1990年以来建设的新街道也必须添加上去。伪节点(拓扑上不需要的节点)也要删除,以免使两个十字路口之间的街道被不必要地断开。但在一条街道沿着连续弧转变成另一条街道的位置上却必须有伪节点,如果没有伪节点则连续弧会被当成同一条街道。

第三步用链路阻抗值来确定街道网络的属性。通过功能分类,把时速限制赋予街道。爱达荷州莫斯科市有三种时速限制:主干线35mi/h,次级干线30mi/h,所有其他的城市道路均为25mi/h。因而将时速限制置于适当路段,据路段长度和时速限制就可以计算出每个路段的旅行时间。

第四步确定单行道的属性。莫斯科市有两条单行道作为北行和南行的州道。单行道在"方向"项目中赋予"1"的值。组成单行道的所有路段的弧段方向必须一致并指向右方向,所以要调整不正确的路段方向。

第五步是要准备转弯表。ARC的命令TURNTABLE能生成一个转弯表,该表包括网络中所有的十字路口和可能的转弯。可用一个项目(如用分钟或秒钟)在转弯表中增加转弯阻抗值。确定转弯阻抗属性需要选择十字路口或节点,确定在十字路口的转弯类型,并对每种转弯类型赋予一个估计的阻抗值。在本例中,只列出爱达荷州莫斯科市十字路口以停车灯来确定的部分转弯表。

图16.4表示在#341节点的街道十字路口,除了U形转弯外,对所有转向都不限制。角度值90意为左转,例如,从#503弧段左转到#467弧段(注释栏16.1)。角度值290意为右转,而角度值0意为直行。本例用了两个转弯阻抗值:左转为30s或0.5min,右转或直行为15s或0.25min。



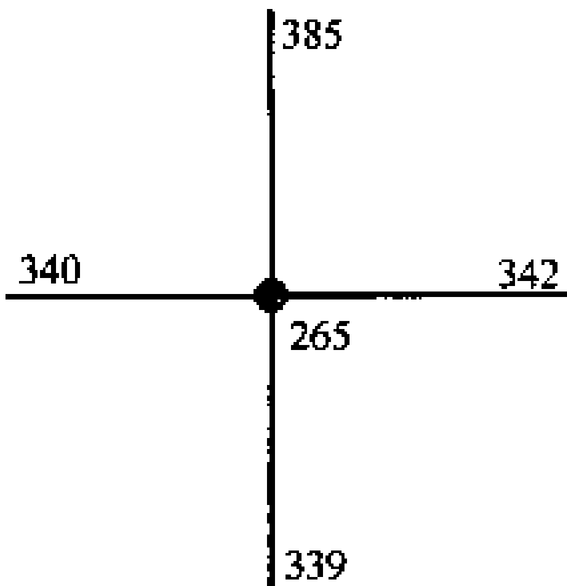
节点号	弧段1#	弧段2#	角度	分钟
341	503	467	90	0.500
341	503	466	0	0.250
341	503	465	−90	0.250
341	467	503	−90	0.250
341	467	466	90	0.500
341	467	465	0	0.250
341	466	503	0	0.250
341	466	467	−90	0.250
341	466	465	90	0.500
341	465	503	90	0.500
341	465	467	0	0.250
341	465	466	−90	0.250

图16.4 在节点341处的可能转弯。

转弯角

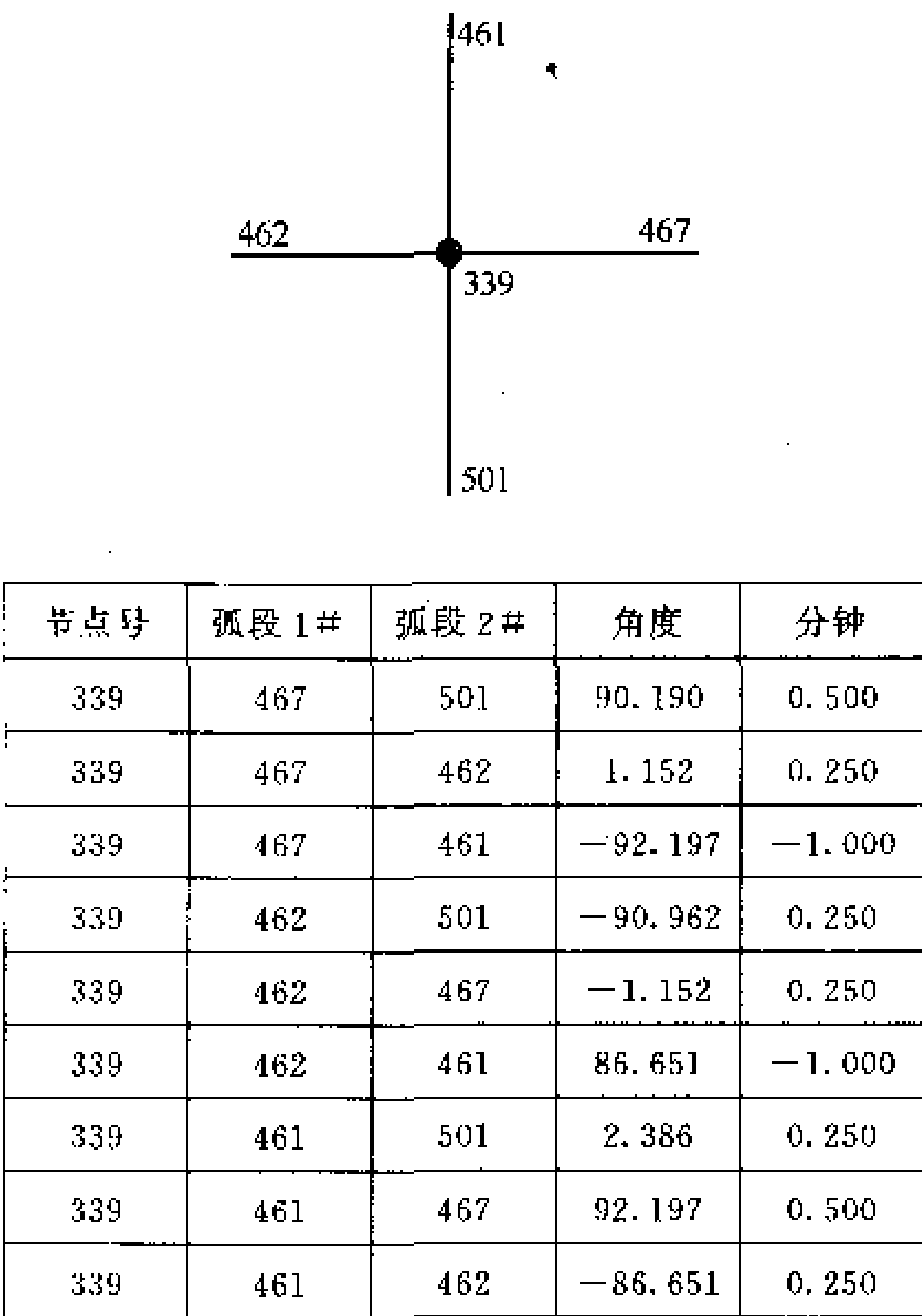
转弯角是一个转弯的始(from)弧段和到(to)弧段之间的角度。实际上，转弯角经常为 90°右转弯或左转弯，0°直行。如同由 TIGER/Line 文件制备的图层上量测的，转弯角很可能偏离 90°或 0°。因为转弯角的目的仅是为了确定转弯类型，我们可以忽略这些偏差。

在一些十字路口不允许某些类型的转弯。图 16.5 表示在 #265 节点处有停止标记的十字路口只能东西向通行，所以转弯阻抗值只产生于 #342 和 #340 弧段。图 16.6 表示在往南单行道和东西双向道之间有一个停车灯十字路口的阻抗值 21 表示禁止转弯，比如由 #467 弧段向 #461 弧段右转或由 #462 弧段向 #461 弧段左转。



节点号	弧段 1#	弧段 2#	角度	分钟
265	339	342	−87.412	0.000
265	339	340	92.065	0.000
265	339	385	7.899	0.000
265	342	339	87.412	0.500
265	342	340	−0.523	0.250
265	342	385	−84.689	0.250
265	340	339	−92.065	0.250
265	340	342	0.523	0.250
265	340	385	95.834	0.500
265	385	339	−7.899	0.000
265	385	342	84.689	0.000
265	385	340	−95.834	0.000

图 16.5　在节点 265 转弯的转弯阻抗值，该节点有东西向通行的停车标记。



节点号	弧段 1#	弧段 2#	角度	分钟
339	467	501	90.190	0.500
339	467	462	1.152	0.250
339	467	461	−92.197	−1.000
339	462	501	−90.962	0.250
339	462	467	−1.152	0.250
339	462	461	86.651	−1.000
339	461	501	2.386	0.250
339	461	467	92.197	0.500
339	461	462	−86.651	0.250

图 16.6 在节点 339 转弯的转弯阻抗值。节点 339 是南向单行道和东西向双行道的十字路口。

16.3 网络应用

本节讨论网络的应用，这些应用包括将网络直接用于路径的查找和通达性测度，以及将网络与广泛的主题关联（如定位和配置、交通规划模拟）。网络的直接应用通常可利用 GIS 软件包的命令或菜单选择来完成。涉及将网络作为输入数据的应用，常常是与带有特定专业软件包（如交通规划软件）的 GIS 软件包链接。

16.3.1 最短路径分析

最短路径分析是在网络的节点中寻找累积阻抗最小的路径。路径可由两个节点（起点和终点）连成，也可在两点间有一些特定的站点。最短路径分析可以帮助旅行者计划旅行，为货车司机建立送货时间表，或紧急情况下联系输送站、事故地点和医院等服务。

最短路径分析的思路相似于用栅格数据求成本距离量测操作（参见第 11 章）。二者主要差别在于数据模式。最短路径基于矢量分析并且利用现有网络，而成本距离量测操作是基于栅格，并用输入网格和成本网格来寻求提议设施的最低累积成本路径（如水管线和其他管线）。

最短路径问题已在运筹学研究、计算机科学、空间分析和运输工程等领域有广泛研究。最短路径分析的新应用是车载道路导航系统（RGS）的开发。对于任何 RGS，最重要的

是算法，该算法能找到从起点到目的地的理想(最短)路径(Fu 等　1998)。

最短路径分析开始于阻抗矩阵。在矩阵中，数值表示网络的两个节点之间直接连接的阻抗，而 0 或无穷大表示无直接连接。而后，在分析中不断重复从节点 1 到其他所有节点的寻找最短距离的过程(Dijkstra　1959)。在文献中已推荐了解决最短路径问题的各种计算机算法(Dreyfus　1969)。

这里我们以道路网络上的 6 个城市为例(图 16.7)。表 16.1 表示以分钟来测量旅行时间的阻抗矩阵。在阻抗矩阵的主对角线上下，若值为 0 表示两节点之间没有直接的路径。假设在图 16.7 中要寻找从节点 1 到其他所有节点的最短路径，可用重复步骤解决这个问题(Lowe 等　1975)。在每一步骤，从候选路径中选择最短路径，并将最短路径节点置于解决方案列表中。

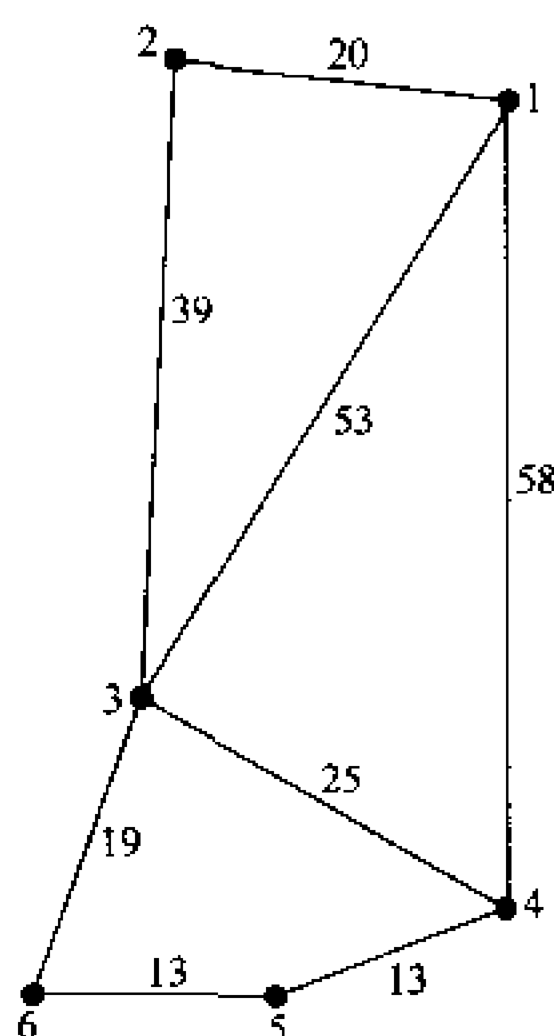


图 16.7　道路网络上的六个城市用于最短路径分析。

表 16.1　图 16.7 的六个节点之间的阻抗矩阵

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1)	0	20	53	58	0	0
(2)	20	0	39	0	0	0
(3)	53	39	0	25	0	19
(4)	58	0	25	0	13	0
(5)	0	0	0	13	0	13
(6)	0	0	19	0	13	0

第一步分别从节点 1 到节点 2、3 和 4 的三条路径中选择最短路径：

$$\min(p_{12},\ p_{13},\ p_{14}) = \min(20,\ 53,\ 58)$$

我们选择 p_{12}，因为它在三条候选路径中阻抗值为最小。而后把节点 2 置于解决方案列表中，与节点 1 在一起。

第二步是准备新的候选路径列表，这些候选路径与解决方案列表中的节点(节点 1 和节点 2)有直接或间接联系：

$\min(p_{13}, p_{14}, p_{12}+p_{23}) = \min(53, 58, 59)$

我们选择 p_{13}，并把节点 3 置于解决方案列表中，再执行以下步骤，以便以网络上的其他节点完成解决方案列表：

$\min(p_{14}, p_{13}+p_{34}, p_{13}+p_{36}) = \min(58, 78, 72)$

$\min(p_{13}+p_{36}, p_{14}+p_{45}) = \min(72, 71)$

$\min(p_{13}+p_{36}, p_{14}+p_{45}+p_{56}) = \min(72, 84)$

表 16.2 总结了从节点 1 到其他所有节点的最短路径问题的解决方案。

表 16.2 图 16.7 中从节点 1 到所有其他节点的最短路径

始节点	到节点	最短路径	最小累积阻抗
1	2	P_{12}	20
1	3	P_{13}	53
1	4	P_{14}	58
1	5	$P_{14}+P_{45}$	71
1	6	$P_{13}+P_{36}$	72

旅行推销员问题是最短路径分析中较复杂的形式，因为它有两个约束：① 推销员必须仅访问选择的各站点一次；② 推销员可以从任一站点出发，但必须回到出发点。其目标是确定的路径或游程使推销员能获得最小的阻抗值。

此问题的一种解决办法是采用启发式方法(Lin 1965)。以一个初始的随机旅行开始，该方法通过替换站点减少累积阻抗，运行一系列局部的理想解决方案。这个重复过程持续到通过替换站点的效果不再改善为止。这种启发式方法往往可建立一个最小(或接近最小)累积阻抗的旅行路径。

ARC/INFO 用命令 PATH 和 TOUR 来解决最短路径问题。PATH 使用用户定义的站点顺序来解决问题，而 TOUR 决定能达到最小累积阻抗的站点访问顺序。ArcView 中的 Network Analyst 扩展模块含有 Find Best Route 的菜单选项，它兼有PATH 和 TOUR 的功能。由 ARC/INFO 或 ArcView 得到的最短路径方案被存为路径(route)—基于动态分段模型的高级对象。因此，解决方案可在网络上显示。ARC/INFO 和 ArcView 都提供有选项，该选项为含街名、转弯和距离的最短路径提供指南。

16.3.2 最近设施

最短路径分析的一种类型是对网络上的任何地点寻找最近设施(如医院、消防站或自动取款机)。**最近设施**算法首先计算选定地点到所有候选设施的最短路径，然后从候选设施中选择最近设施。对于此类应用，ArcView 的 Network Analyst 扩展模块有一个名为 Find Closet Facility 的菜单选项。图 16.8 表示爱达荷州莫斯科市离一个街道地址最近的消防站。

16.3.3 配置

配置是通过网络来研究资源的空间分布。在配置研究中的资源常指公共设施如消防

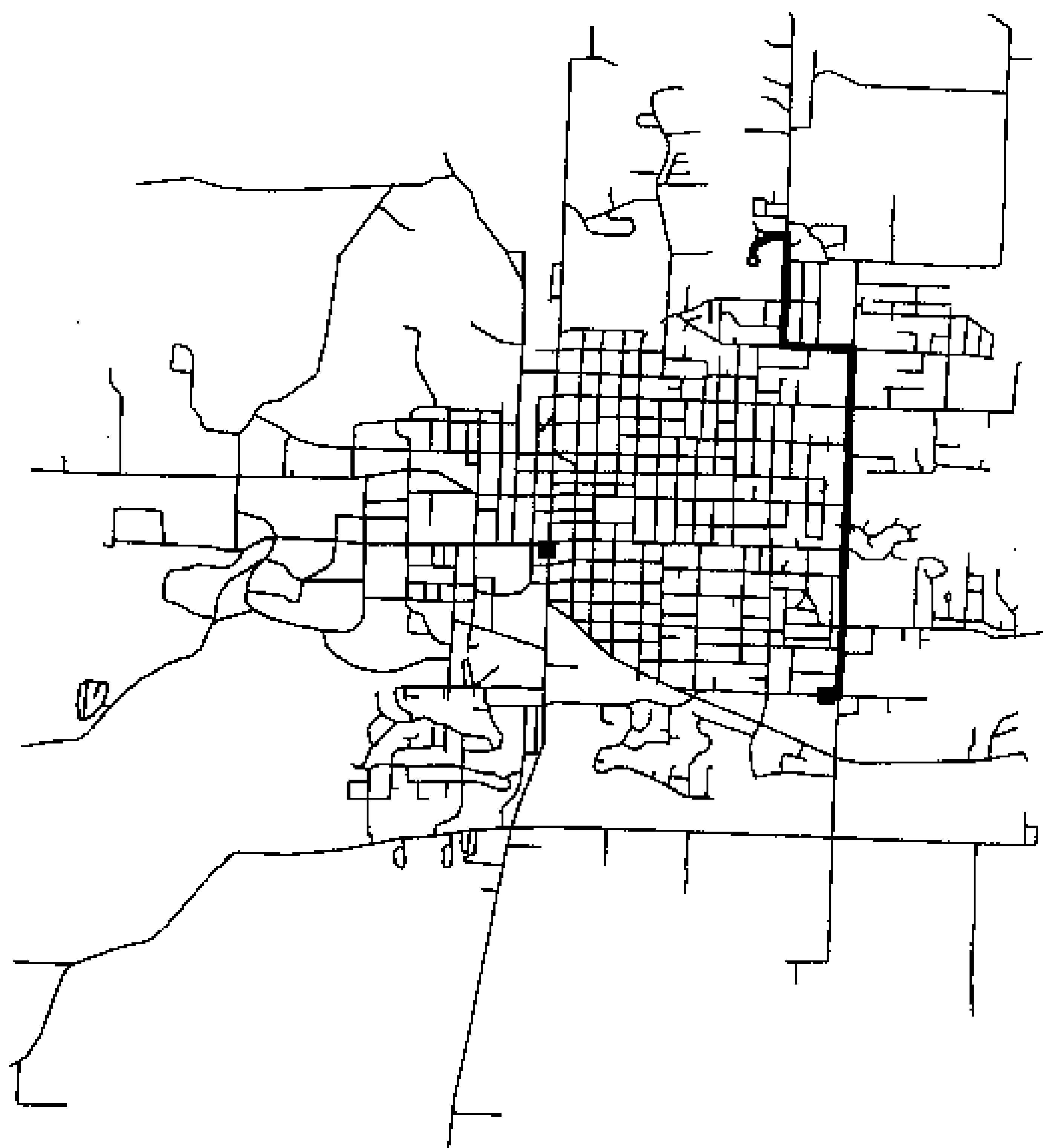


图 16.8 从爱达荷州莫斯科市的一个街道地址到离它最近的消防站(图中以方形符号表示)的最短路径。

站或学校,而资源分布决定服务的范围。空间配置分析的主要目标是衡量公共设施的功效。

在紧急事件服务中一般是以响应时间来衡量效率的,即救火车或救护车达到事故地点所花的时间。如图 16.9 表示爱达荷州莫斯科市两个现有消防站在 2min 响应时间内的服务范围,该地图中显示该市大部分地区不在 2min 的响应范围内。莫斯科市郊外区域的响应时间大约为 5min(图 16.10)。

如果莫斯科市居民要求到城市任何一个地方的反应时间应为 2min 或更少,那么就要重新定位消防站的位置或建立新的消防站。新的消防站必须能覆盖现有消防站在 2min 内不能抵达的该市的最大范围。这个问题则成为定位和配置问题,将在下一节述及。

ARC/INFO 的 ALLOCATE 命令用于解决配置问题。ArcView 的 Network Analyst 扩展模块有一名为 Find Service Area 的菜单选项也是解决配置问题的。

16.3.4 定位与配置

定位与配置用对象组和约束来解决供与需的匹配问题,是运筹学研究和空间分析重要主题。定位与配置的算法过去是单独的计算机程序,但在近年来的 GIS 软件包(如 ARC/INFO 和 MGE Network)已经将一些定位与配置的算法作为应用工具合成一体。

私营部门提供了许多定位-配置的例子。假如一家公司为服务超市启动软饮料发送设

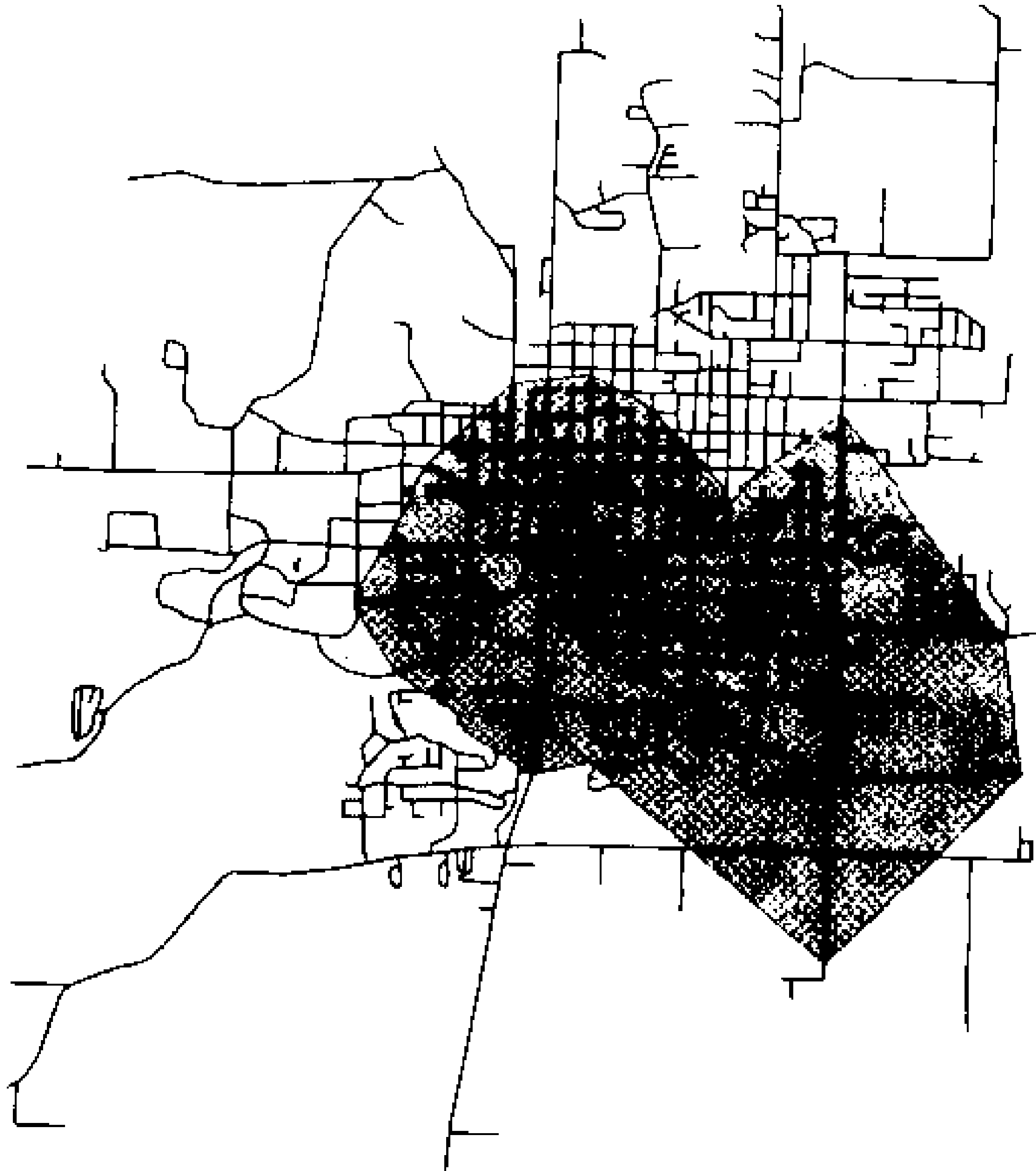


图 16.9 爱达荷州莫斯科市的两个消防站在 2min 响应时间内的服务范围。

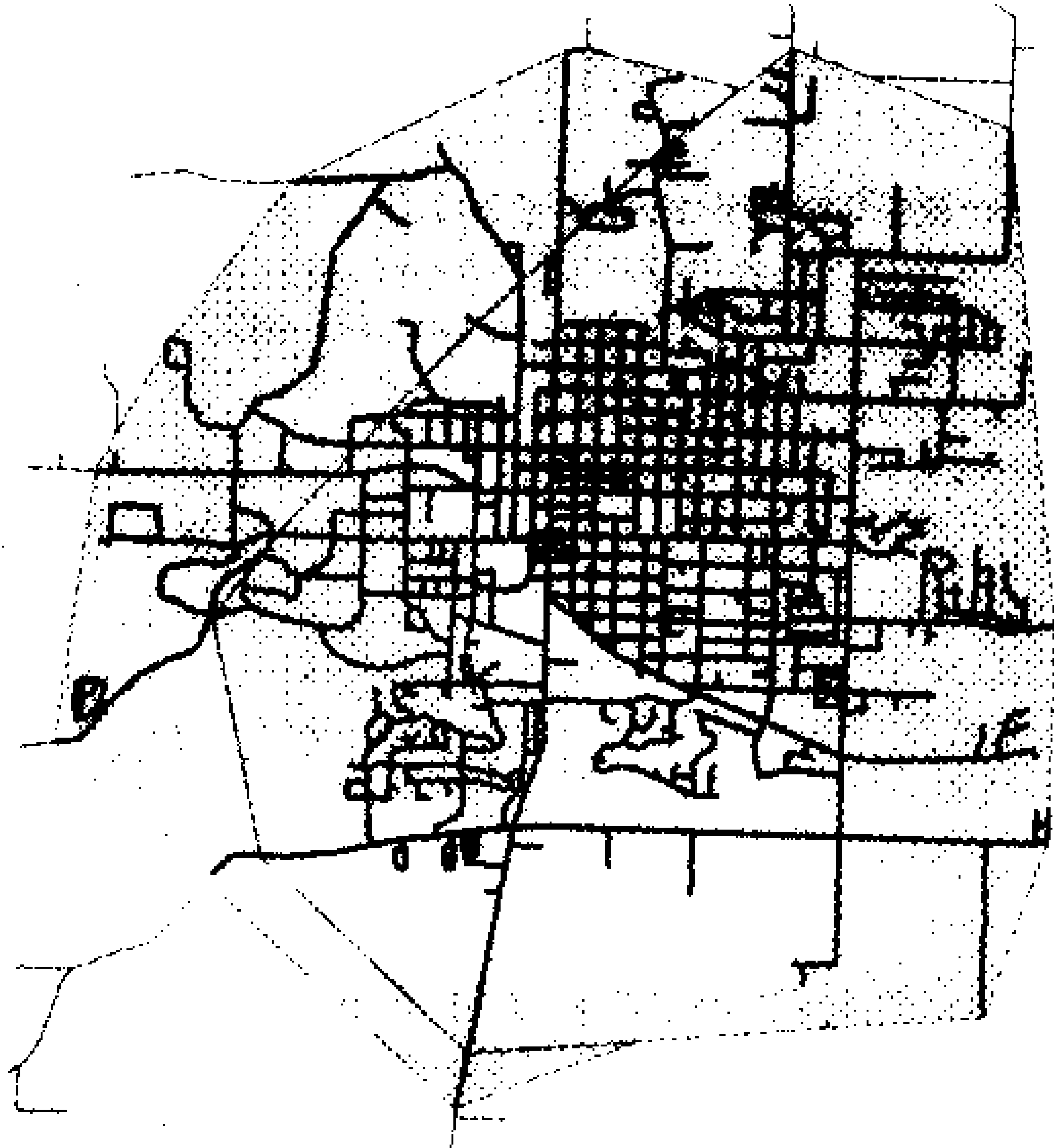


图 16.10 爱达荷州莫斯科市的两个消防站在 5min 响应时间内的服务范围。

施。本例的目标是要使总的旅行距离最短，并用一种约束条件（比如，2h驱车距离）对本问题施加影响。定位与配置分析就是要使分布的设施与超市相匹配，同时满足上述目标和约束条件。

定位与配置对于公共部门也很重要。例如，当地学校董事会决定①所有学龄儿童必须在其学校周围1mi之内。②所有学生的总行程必须最小。本例中，学校代表供给，学龄儿童代表需求。这种定位-配置分析的目标是为民众提供公平的服务，而在总行程上效率最高。

建立定位-配置问题需要输入供给、需求和距离测度。供给由设施或点位中心组成。需求由点、线或多边形组成，取决于数据源和空间数据聚合的水平。例如，学龄儿童的定位可以沿街以单独的点或聚集点表示，或以单位范围（如人口普查街区群）的聚集点（质心）表示。利用聚集的需求点很可能会把误差引入定位-配置分析中（Francis 等 1999）。供给和需求之间的距离大小常以距离矩阵或距离列表表示。道路网络中的两点之间距离可以沿着最短路径或沿直线距离量测。在定位-配置分析中最短路径距离很可能比直线距离的结果更精确。

对于定位-配置问题，最重要的输入是用于解决问题的模型。两种最常用的模型为最小距离法和最大覆盖法（Ghosh 等 1995，Church 1999）。**最小距离模型**也称为p-中心（p-median）定位模型，要求所有需求点到最近的供给点的总行程为最小（Hakimi 1964）。p-中心模型已应用到各种设施的定位问题中，包括食物配送设施、公共图书馆和健康设施。**最大覆盖模型**是在指定时间或距离内达到需求覆盖最大化（Church 等 1974）。公共部门定位问题（如紧急救护和消防服务机构）最适合用最大覆盖模型。该模型对于许多便民零售设施（如电影院、银行和快餐店）的定位也是很有用的。

最小距离模型和最大覆盖模型都可再增加约束和选择。最大距离的约束可以施加于最小距离模型上，使得解决方案在对总行程最小化的同时确保需求点都在指定的最大距离范围内。需求距离选项可以和最大覆盖模型并用，以覆盖所需求距离内的所有需求点。

这里以爱达荷州的Latah县公共图书馆为例来检验三种定位-配置情景。该县对公共图书馆的需求包括33个需求点，每个点代表在每个人口普查街区群的家庭总数（图16.11）。在需求点和公共图书馆之间按直线量测距离。

第一种情景：假定①每个街区群都是公共图书馆的可能候选地；②县政府要用需求距离为10min的最大覆盖模型建立三个图书馆。图16.12显示了三个选中的候选地。这个解决方案中一个有344个家庭的需求点未被覆盖到。如要覆盖每一个需求点，县政府要么增加公共图书馆的数量，要么放宽需求距离。

第二种情景：除了县政府想要用最小距离模型外，用与第一种情景相同的方法建立。图16.13显示三个选中的候选地，其中一个为据最大覆盖模型得到的图16.12中所没有包含的。

第三情景：假设三个图书馆中有一个位置已固定和先前已选定。图16.14显示用最大距离约束为10mi的最小距离模型选中的两个新位置。本解决方案遗留了具有1124个家庭的三个需求点没有被覆盖。

ArcView没有解决定位-配置问题的菜单选项。ARC/INFO提供两种定位-配置算法：GRIA（全局区域交替算法）（Densham 等 1992）和TEITZBART（Teitz 等 1968）。两种算法都是启发式的，能较快地解决定位-配置问题，但有可能不能产生理想的解决方案，尤其是有许多供给点和需求点的情况。

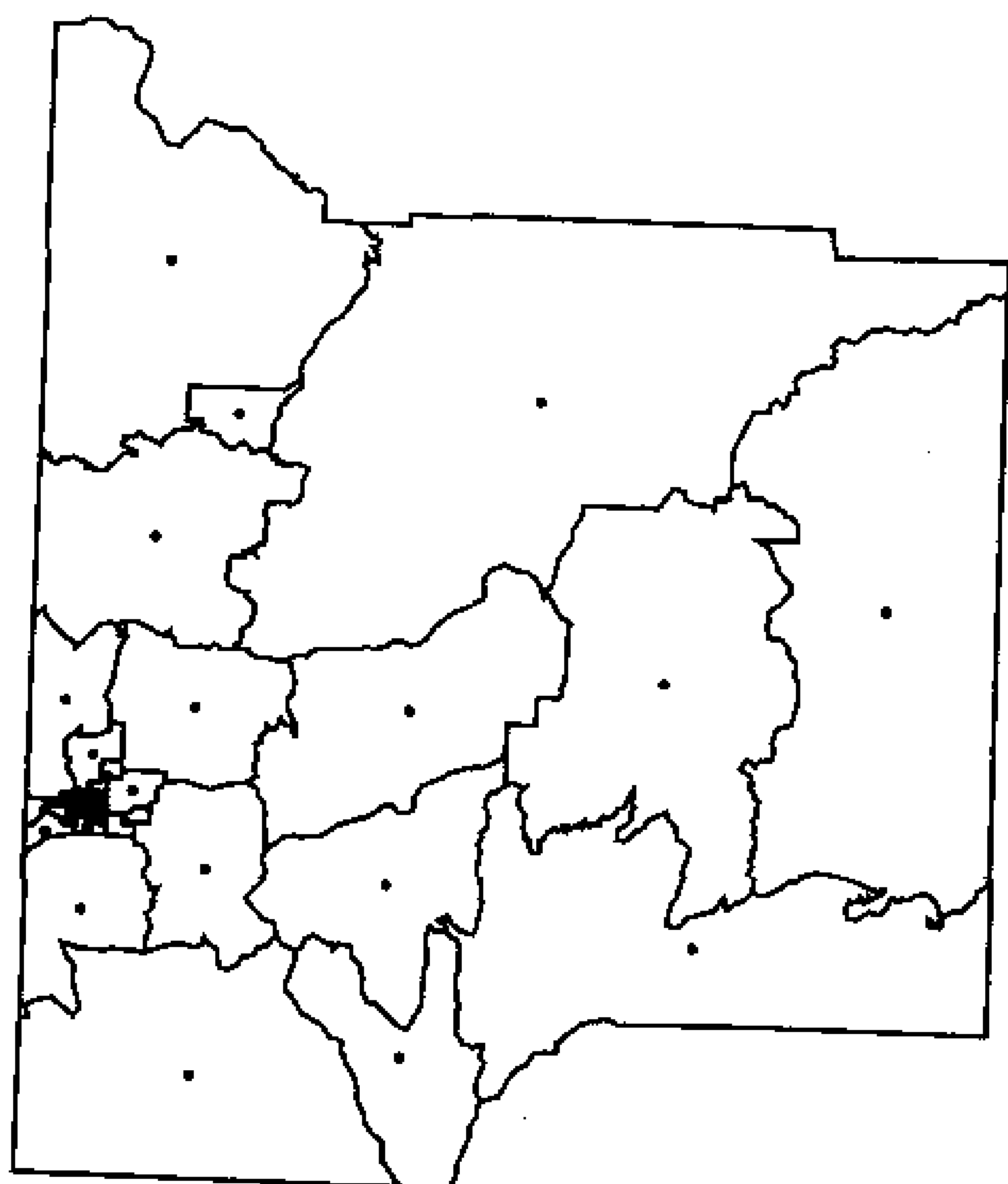


图 16.11 爱达荷州 Latah 县对于公共图书馆定位问题的需求点。

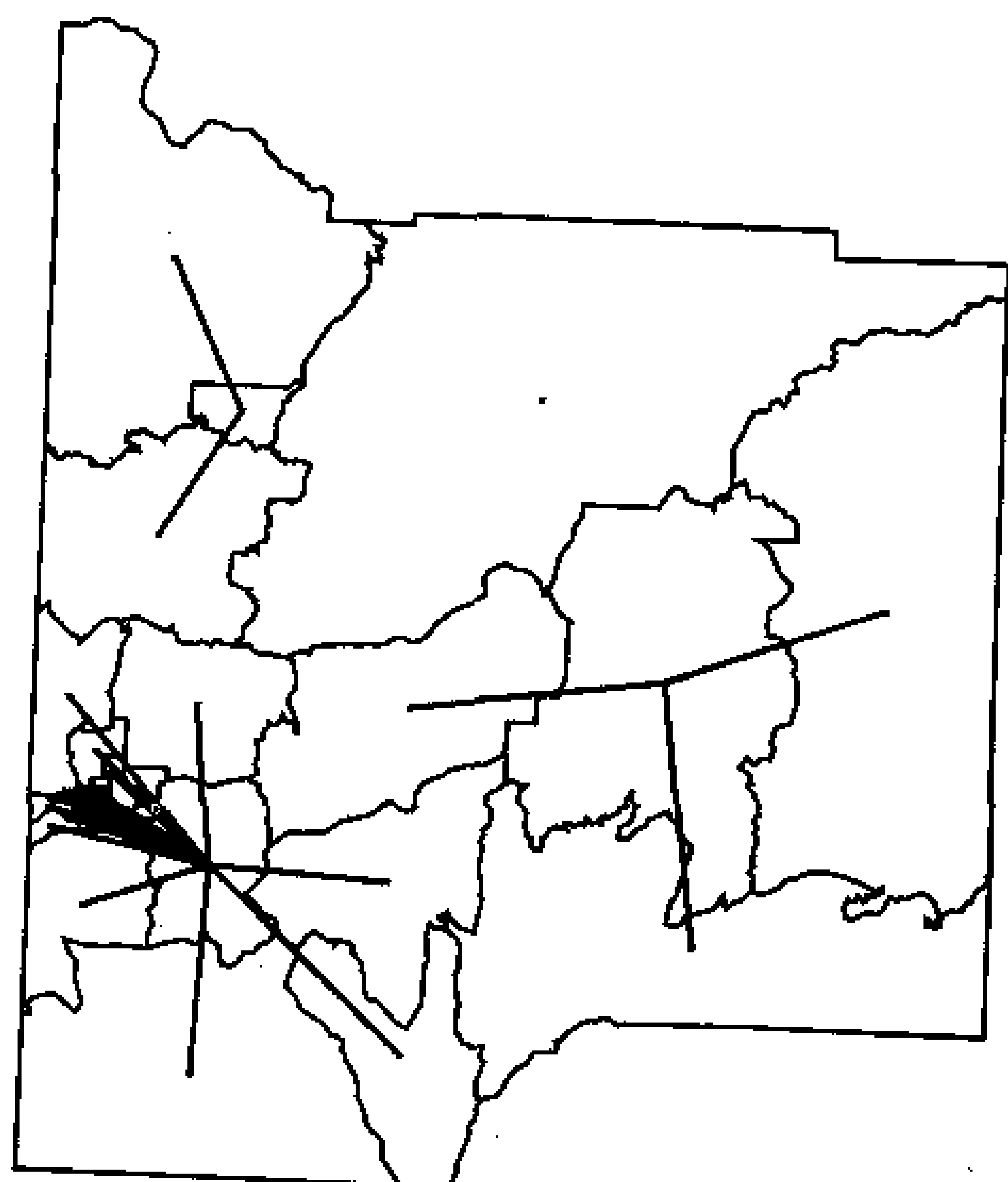


图 16.12 由最大覆盖模型选中的三个候选地及其所服务的需求点。

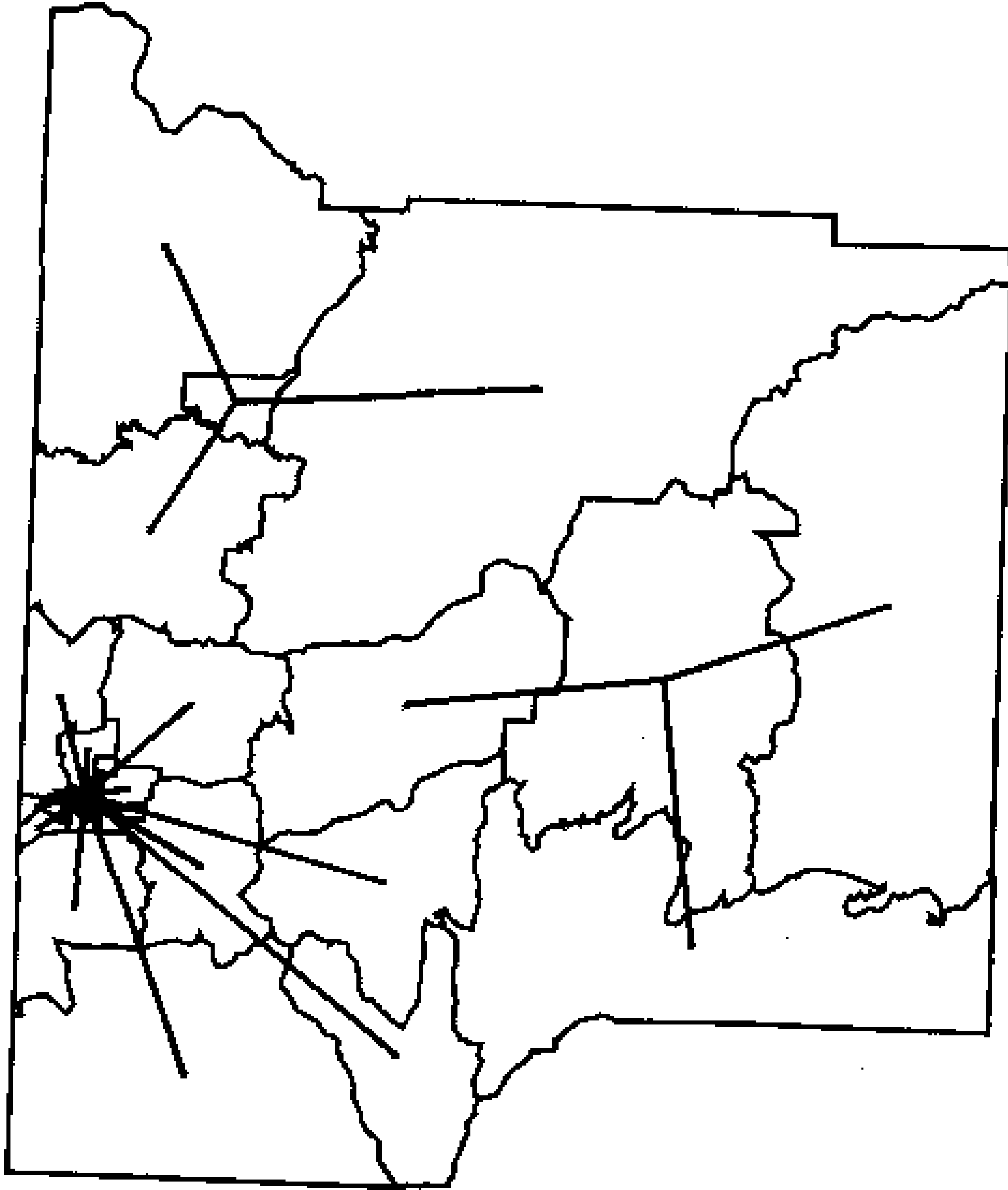


图 16.13　由最小距离模型选中的三个候选地及其所服务的需求点。

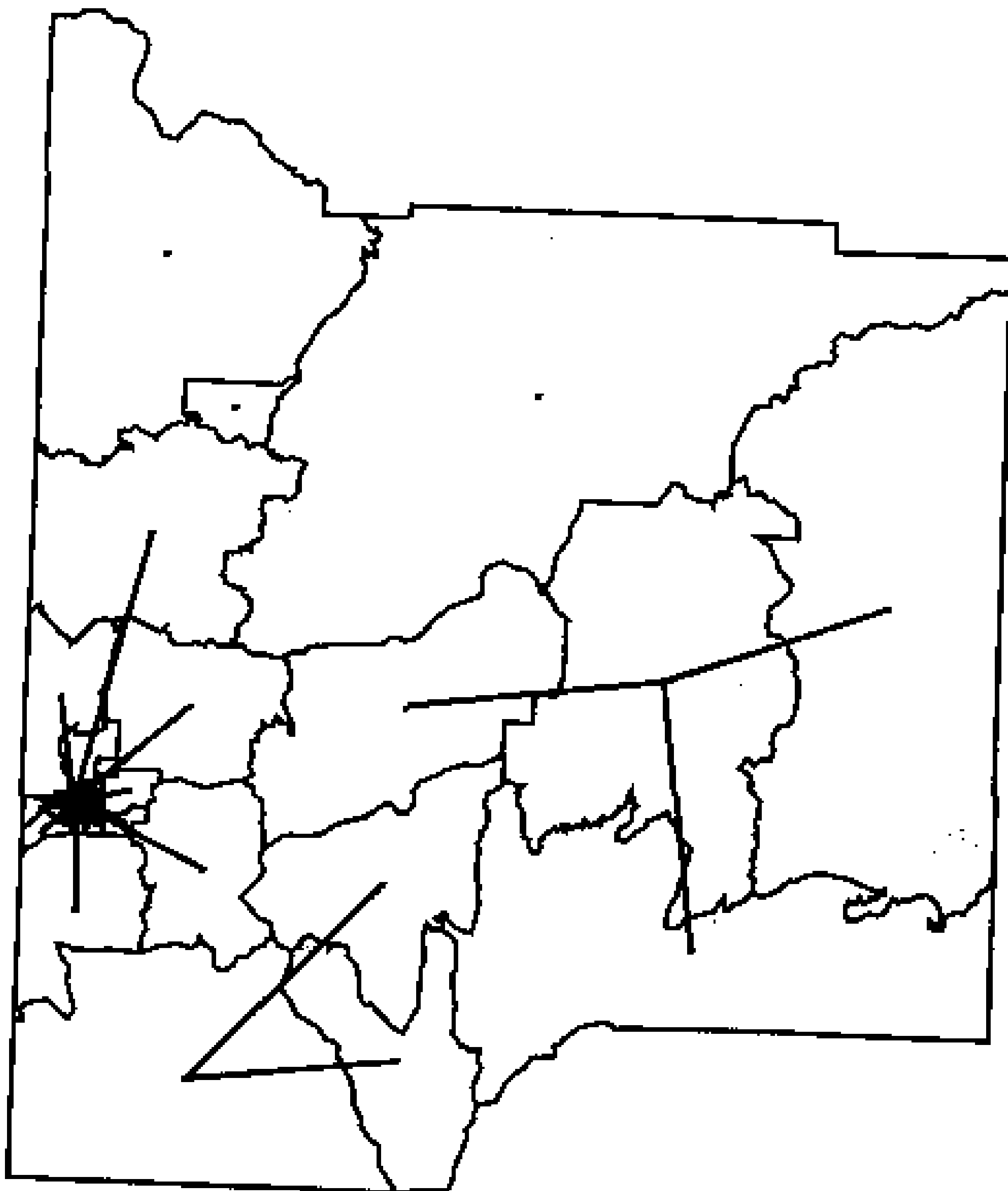


图 16.14　由最大距离约束为 10mi 的最小距离模型选中的一个固定的和两个选中的候选地。固定的候选点是位于西部的那一个。

ARC/INFO 中的最大覆盖模型有最大距离的必需参数和需求距离的可选参数。尽管目标是要最大覆盖，但该模型可能实际上未将一些需求点全部覆盖，如图 16.12 所示。这种明显的矛盾是用最小距离解决方案技术来解决最大覆盖模型的结果(Church 1999)。

16.3.5 城市交通规划模型

城市交通规划(UTP)模型一般由旅行产生、旅行分布、方式选择和旅行任务等四步过程组成(Nyerges 1995)。旅行产生是在模型中估计每个交通分析区(TAZ)往返的旅行数量；旅行分布是利用每个交通分析区中的旅行产生的数量和交通分析区之间的距离或旅行时间，提出交通分析区之间的旅行交替矩阵；方式选择是用旅行模型来区分旅行；旅行任务是在网络中由模型估算的交通容量。

城市交通规划模拟是一种复杂的过程，在上述四个步骤的每一步都涉及算法或模型的选择，并要求软件开发者和用户对交通规划有很好的理解(Waters 1999)。因此一般城市交通规划模型都有专门的软件组件。

在城市交通规划模型中必须输入交通网络。网络用于量测交通分析区之间的旅行阻抗。在四步过程中的旅行分布和方式选择都需要旅行阻抗的数据。为了估算网络中每条链路的交通量，因此在旅行任务中也要用到网络。

为了把网络用于城市交通规划模拟，网络必须有弧-节点数据结构。节点是道路交叉口和关键转弯。弧段或链路是节点之间的道路分段。交通规划中的链路属性通常包括距离、速度限制、容量和功能分类。

16.4 动态分段

建立于网络的弧段上，动态分段数据模型的基本要素有路径、线段和事件。路径是线段的集合，并作为亚类驻存于线图层中。线段直接指线图层中的弧段，并提供路径系统的测量。事件是指发生的事情，如事故或路面状况，并通过其位置的测量而与路径系统有关(注释栏 16.2)。因此动态分段模型的开发涉及创建路径、计算路径的量度并建立事件表。

[illegible] [illegible]

交通部门一般用线性定位参照系统来确定沿道路和运输路径的事件(如事故和壶穴)和设施(如桥梁和管路)。线性参照系统从已知点(如路径的起点、里程标志或道路交叉口)用距离量测来确定事件的位置。例如，事故位置的地址包括路名和离开里程标志的距离。另一方面，对于线性事件的地址使用离开两个参照站的距离。

基于矢量的 GIS 用 x、y 坐标来定位点、线、多边形和高级对象。平面坐标系统与线性参照系统有根本的不同。动态分段模型用路径、量度和事件把这两个系统组合在一起。

16.4.1　在新弧段上建立路径

通过数字化弧段组成新路径，并用命令 REMEASURE 计算路径量度。当包括路径的线图层的拓扑关系建立后，ARC/INFO 自动创建了一个线段表和一个路径表。线段表显示每个线段的量度，路径表用路径 ID 号与线段表链接。

16.4.2　在现有弧段上建立路径

在线图层的现有弧段上创建路径是种有效的途径。该途径提供了交互方法和数据转换方法。交互方法包括两个步骤：① 选择组成路径的弧段。② 利用 MAKEROUTE 命令把弧段转变为路径。MAKEROUTE 命令会自动地计算出该路径的量度。

这种数据转换方法应用于线图层而不是像交互法中的一组选择的弧段，它通过参照线图层属性表的项目，立即创建了许多路径。例如，如果参照项目是公路编号，转换算法则为每个有编号的公路创建一个路径系统。

ARCROUTE 与 MEASUREROUTE 命令能执行转换。ARCROUTE 只可用拓扑的连续路径，而 MEASUREROUTE 则对连续或不连续的路径都可用。拓扑的不连续路径是指该路径被一运河或河流分成两个或更多个部分。

图 16.15 显示含有以下州际公路的爱达荷州线图层：15、84、86、90 和 184。倘若我们

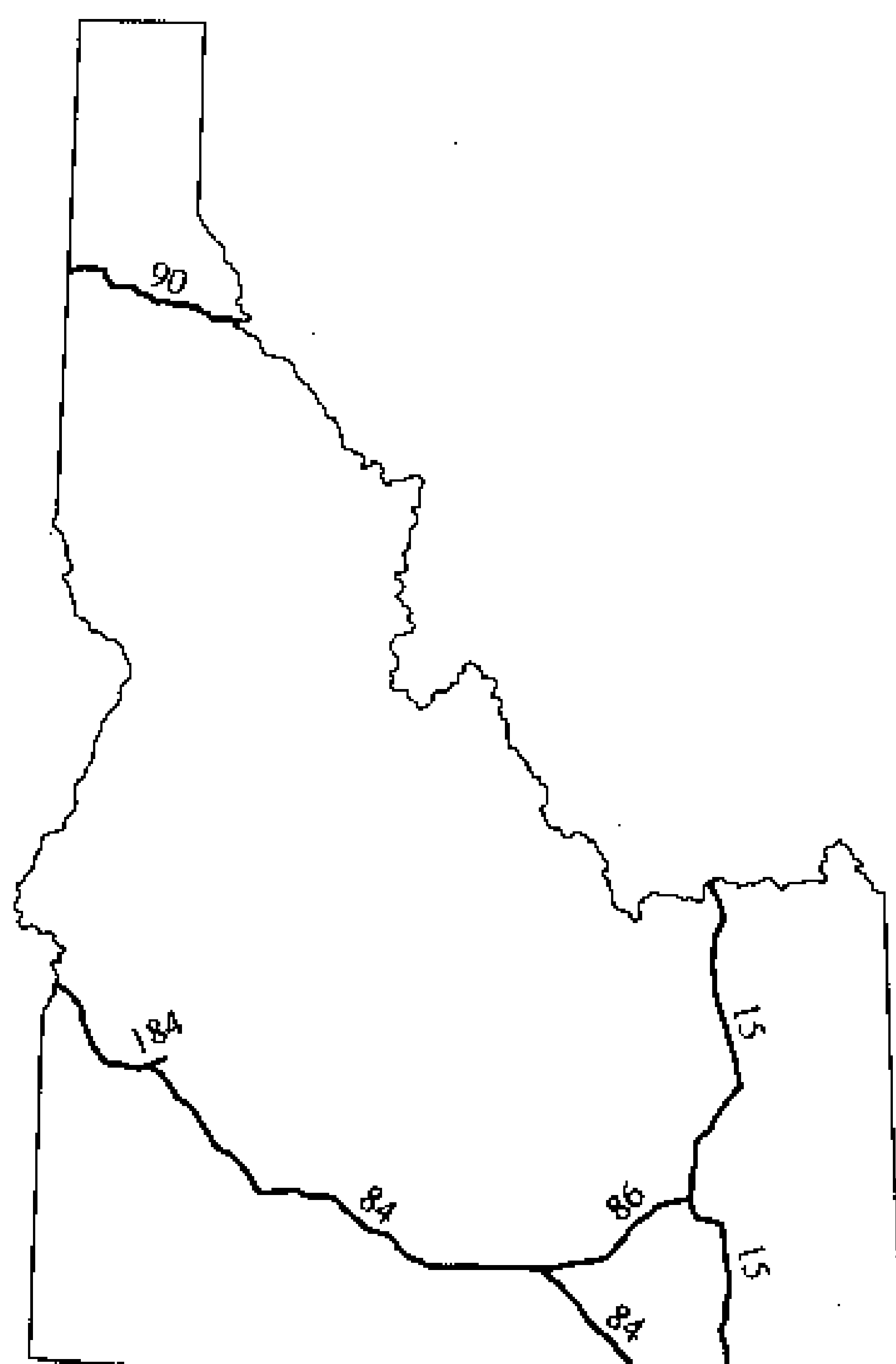


图 16.15　爱达荷州的州际公路。

想为每个州际公路建立一个路径系统，则可以用 ARCROUTE 命令执行转换。表 16.3 是输出路径表，表上有每条州际公路的路径。表 16.4 是个路段表，该表用 routelink # 与路径系统链接，用 arclink # 与线图层的弧段链接。每个路径系统分别被度量，如路段表中的 f-meas 和 t-meas 项目所示。

表 16.3 爱达荷州际公路路径表

Inter #	Inter-Id	High–Number
1	1	15
2	2	84
3	3	86
4	4	90
5	5	184

表 16.4 爱达荷州际公路路段表

routelink #	Arclink #	*f*-meas	*t*-meas	*f*-pos	*t*-pos	Inter #	Inter-id
1	5	0	44 700	100	0	1	1
1	4	44 700	123 648	100	0	2	2
1	3	123 648	199 791	100	0	3	3
1	16	199 791	239 375	100	0	4	4
1	15	239 375	315 194	100	0	5	5
2	6	0	74 024	0	100	6	6
2	7	74 024	78 964	0	100	7	7
2	9	78 964	154 873	0	100	8	8
2	10	154 873	226 153	0	100	9	9
2	11	226 153	303 050	0	100	10	10
2	12	303 050	356 992	0	100	11	11
2	17	356 992	433 769	0	100	12	12
2	18	433 769	443 570	0	100	13	13
3	13	0	78 065	0	100	14	14
3	14	78 065	101 154	0	100	15	15
4	1	0	72 033	0	100	16	16
4	2	72 033	117 974	0	100	17	17
5	8	0	6 348	100	0	18	18

16.4.3 建立不同类型的路径

路径可归为以下四种类型：

(1) **简单路径**：只有一个方向且没有环线或分支的路径。

(2) **组合路径**：与其他路径相连接的路径。

(3) **分割路径**：一条路径续分为二条路径。

(4) **循环路径**：一条自我交叉的路径。

简单路径比较容易建立，其他三种路径则要求特殊的处理。州际公路是组合路径的一个例子，它在不同交通方向有不同的交通条件。此种情况下，可对州际公路建立两条路径，即每个方向一条路径。分割路径的一个例子是公路的坡道。与组合路径一样，分割路径可被分为两条或更多条路径：一条为公路的连续路径，其他单独路径为分割的路段。

循环路径要求把该路径分割成不同路段，如果路径不分割成不同路段，则该路径的度量会中断。我们用爱达荷州莫斯科市的巴士路径来解释这一过程(图 16.16)。图中的巴士路径有两个环路。因此，我们可以把巴士路径分割为三个路段：① 从该市西边起到第一个十字路口。②在第一个和第二个十字路口之间。③ 从第二个十字路口回到起点(图 16.17)。

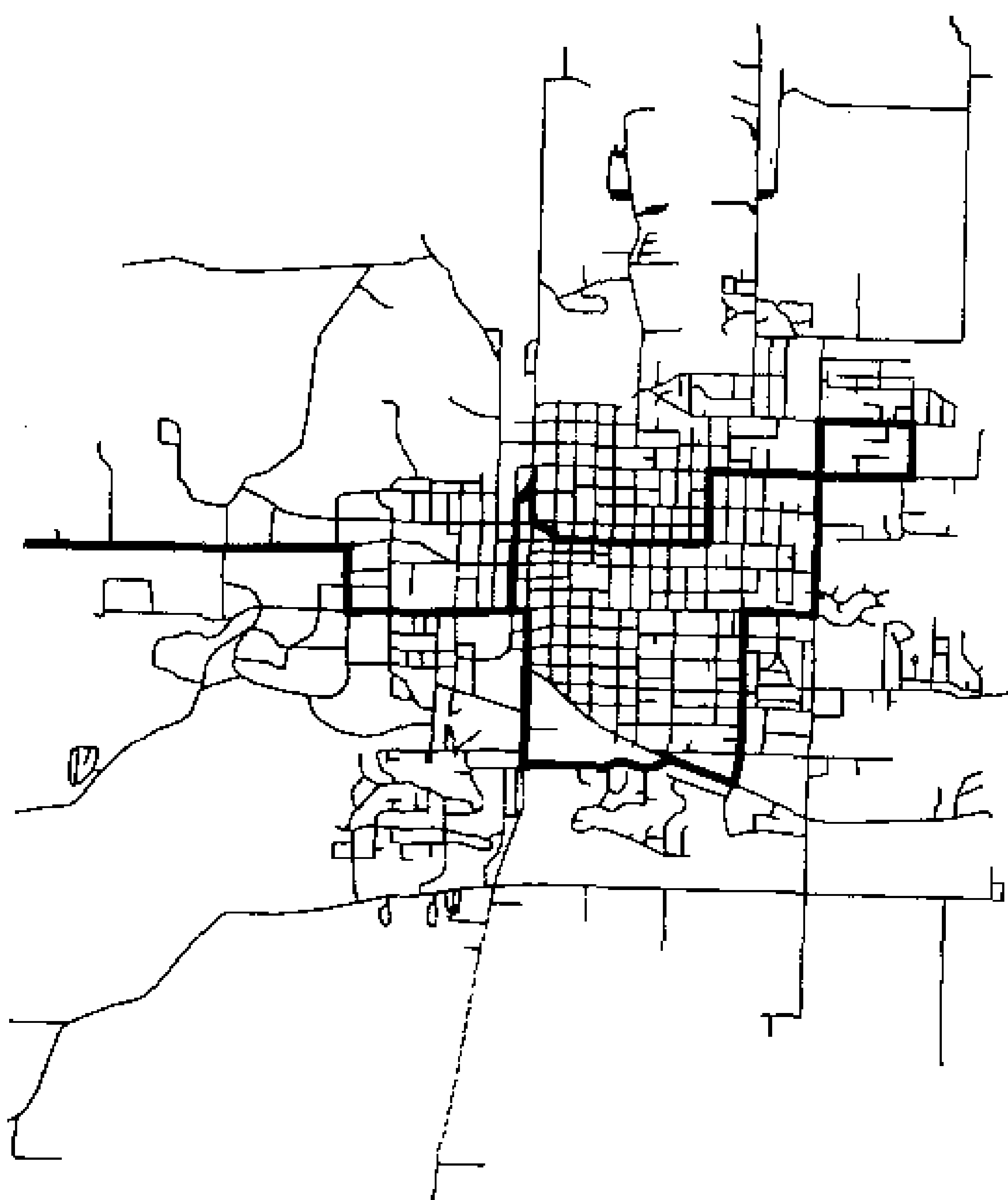


图 16.16　有两个环路的爱达荷州莫斯科市的巴士路径。

选择组成第一个路段的弧段之后，我们可用 MAKEROUTE 建立初步的巴士路径。接着，选择第二个路段的弧段并将其添加到路径上，然后用 REMEASURE 命令来量测第二个路段。最后把第三个路段的弧段添加上去并再量测第三个路段的弧线，巴士路径就完成了。

16.4.4　用 Measured Polyline Shapefiles 建立路径

ArcView 可以利用 ARC/INFO 制备的路径或由 Measured PolyLine Shapefiles 建立的路径。Measured PolyLine Shapefiles 除了含有附加测量值外，与常规的PolyLine sha-

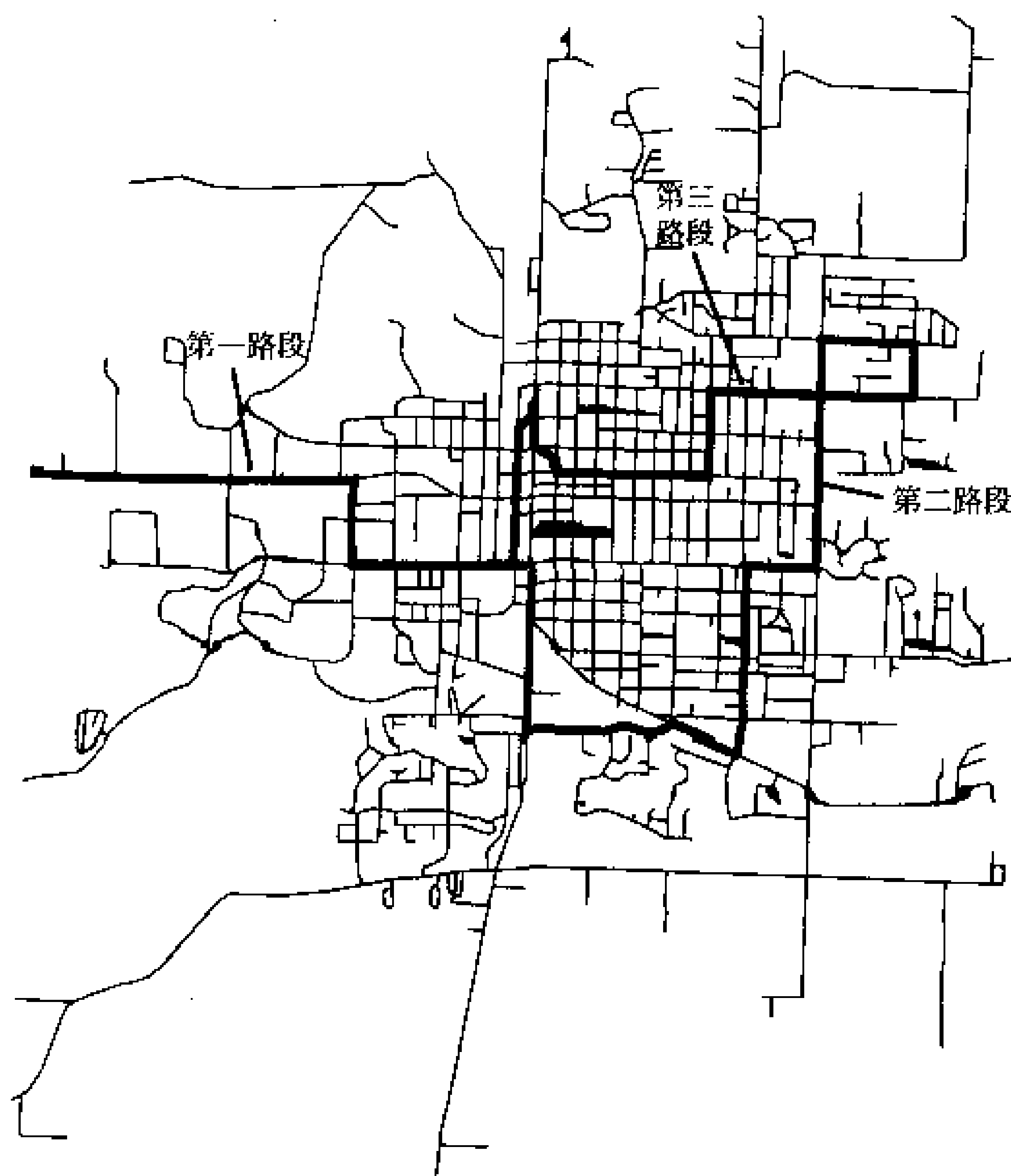


图 16.17 因为该巴士路径是一个循环路径，该路径被分割为三个路段。

pefiles(即单或多线性要素的集合)相同。

16.5 事 件 表

事件(event)是线性参照系统上测量的属性数据。利用路径 ID 及事件的位置测度，动态分段模型可以把事件与地理坐标参照的路径系统链接起来。事件可以是点事件、连续事件或线性事件。

(1) **点事件**是发生在点的位置上，如事故与停车标志。为了把点事件和路径系统关联起来，点事件表必须有路径 ID、事件的位置测度及描述事件的属性。

(2) **连续事件**不间断地涵盖整个路径，如速度限制。连续事件表通过路径 ID 和事件的 TO 测度与路径系统关联起来。

(3) **线性事件**是沿着路径系统的不连续事件，如路面状况。为了把线性事件与路径系统关联起来，线性事件表必须有路径 ID 和 FROM 与 TO 的测度。因为在线性事件之间可能出现间隙，所以要用 FROM 与 TO 的测度来标注线性事件的位置。

除了所要求的路径 ID 和测度外，事件表与常规的属性数据表在制备和使用上是一样的。

16.5.1　用点或多边形图层制备事件表

只要图层是基于和道路系统相同的坐标系统，就可以用点或多边形图层来制备事件表。除了结果是事件表外，其步骤和地图叠加相似。将点图层置于道路系统上，与道路系统有关的点的位置就能在模糊容限下测量出来。如果点与道路系统之间的距离在模糊容限内，则该点就是点事件，并且其位置可量测。将多边形图层置于道路系统上，道路系统的每个路段就被赋予它所穿过多边形的属性数据。以下是两个由图层建立事件表的例子。

图16.18显示爱达荷州莫斯科市的巴士停靠站。为了表示道路系统上的这些巴士停靠站及其属性（如上下车的乘客数量），可把巴士停靠站视为点事件。首先，制备一幅含有巴士停靠站的点图层，接着用ADDROUTEMEASURE命令沿巴士路径测量各巴士停靠站的位置，并把信息记录在点事件表中（表16.5）。因为点事件表是INFO文件，很容易把属性数据（如上下车的乘客数量）添加到文件中。

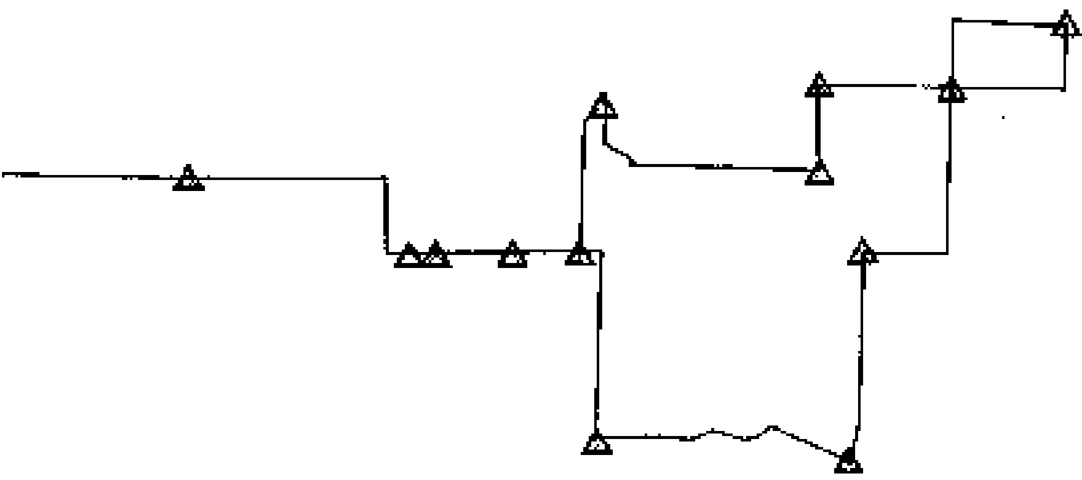


图16.18　爱达荷州莫斯科市沿巴士路径的巴士停靠站。

表16.5　表示沿巴士路径的巴士停靠站的点事件表

巴士站号	巴士号	量度
1	1	899.930
2	1	2 359.145
3	1	2 476.239
4	1	2 849.655
5	1	3 163.485
6	1	4 173.557
7	1	5 446.844
8	1	6 451.580
9	1	9 368.944
10	1	8 509.497
11	1	10 002.686
12	1	10 412.696
13	1	11 728.987

第二个例子是用河流路径系统与一个有四种坡度类型的坡度图层来建立线性事件表

（图 16.19）。河流路径系统与坡度图层之间的交叉点被计算之后，用 POLYGO-NEVENTS 命令为路径系统的每一分段赋予坡度代码值，并把信息记录到线性事件表中（表 16.6）。



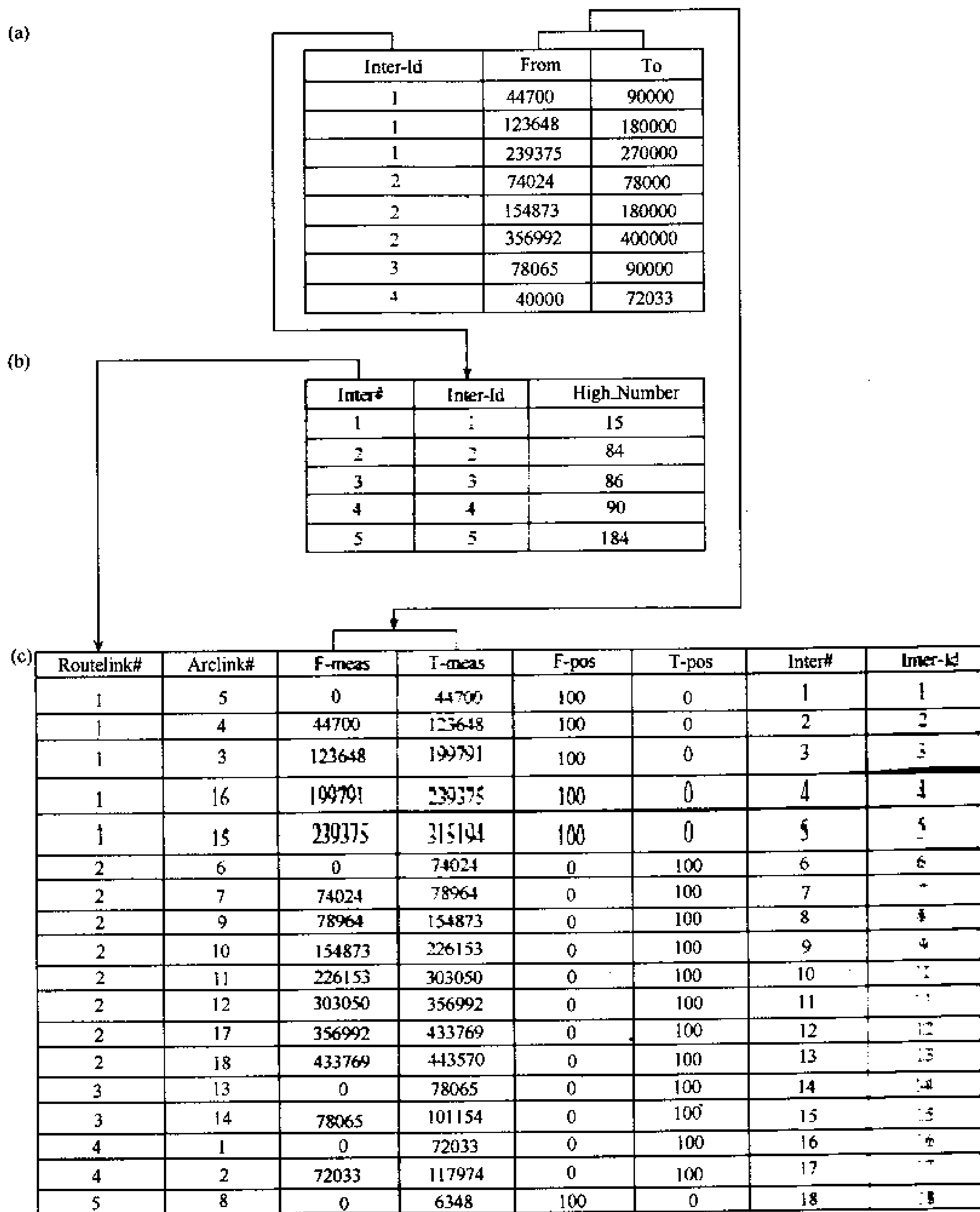
图 16.19　一个河流路径系统和一幅有四种坡度类型的坡度图层。

表 16.6　表示河流路径系统每一分段的坡度代码值的连续事件表

Emida-Id	量测起点	量测终点	坡度代码
1	0	7 638	1
1	7 638	7 798	2
1	7 798	7 823	1
1	7 823	7 832	2
1	7 832	8 487	1
1	8 487	8 561	1
1	8 561	8 586	2
1	8 586	8 639	1
1	8 639	8 643	2
2	0	2 321	1
2	2 321	2 341	2
2	2 341	2 433	1
2	2 433	2 439	2

续表

Emida-Id	量测起点	量测终点	坡度代码
2	2 439	2 472	1
2	2 472	2 485	2
2	2 485	2 610	1
2	2 610	2 617	2
2	2 617	2 803	1
2	2 803	2 815	2
2	2 815	3 500	1
2	3 500	3 523	2
2	3 523	3 805	1
2	3 805	3 831	2
2	3 831	3 865	1
2	3 865	3 993	2
2	3 993	4 629	1
2	4 629	4 645	2
2	4 645	4 706	1
2	4 706	5 015	2
2	5 015	5 073	1
3	0	3	1
3	3	15	−9 999
3	15	124	1
3	124	153	−9 999
3	153	1 911	1
3	1 911	1 937	2
3	1 937	7 473	1
3	7 473	7 478	2
3	7 478	8 367	1
3	8 367	8 380	2
3	8 380	8 435	1
3	8 435	8 438	2
3	8 438	8 667	1
3	8 667	8 761	2
3	8 761	8 822	1
3	8 822	8 884	2



(a)

Inter-Id	From	To
1	44700	90000
1	123648	180000
1	239375	270000
2	74024	78000
2	154873	180000
2	356992	400000
3	78065	90000
4	40000	72033

(b)

Inter#	Inter-Id	High_Number
1	1	15
2	2	84
3	3	86
4	4	90
5	5	184

(c)

Routelink#	Arclink#	F-meas	T-meas	F-pos	T-pos	Inter#	Inter-Id
1	5	0	44700	100	0	1	1
1	4	44700	123648	100	0	2	2
1	3	123648	199791	100	0	3	3
1	16	199791	239375	100	0	4	4
1	15	239375	315194	100	0	5	5
2	6	0	74024	0	100	6	6
2	7	74024	78964	0	100	7	[illegible]
2	9	78964	154873	0	100	8	8
2	10	154873	226153	0	100	9	9
2	11	226153	303050	0	100	10	10
2	12	303050	356992	0	100	11	[illegible]
2	17	356992	433769	0	100	12	12
2	18	433769	443570	0	100	13	13
3	13	0	78065	0	100	14	14
3	14	78065	101154	0	100	15	15
4	1	0	72033	0	100	16	16
4	2	72033	117974	0	100	17	[illegible]
5	8	0	6348	100	0	18	18

图 16-20　事件表(a)、路径表(b)和路段表(c)的链接。参见文中解释。

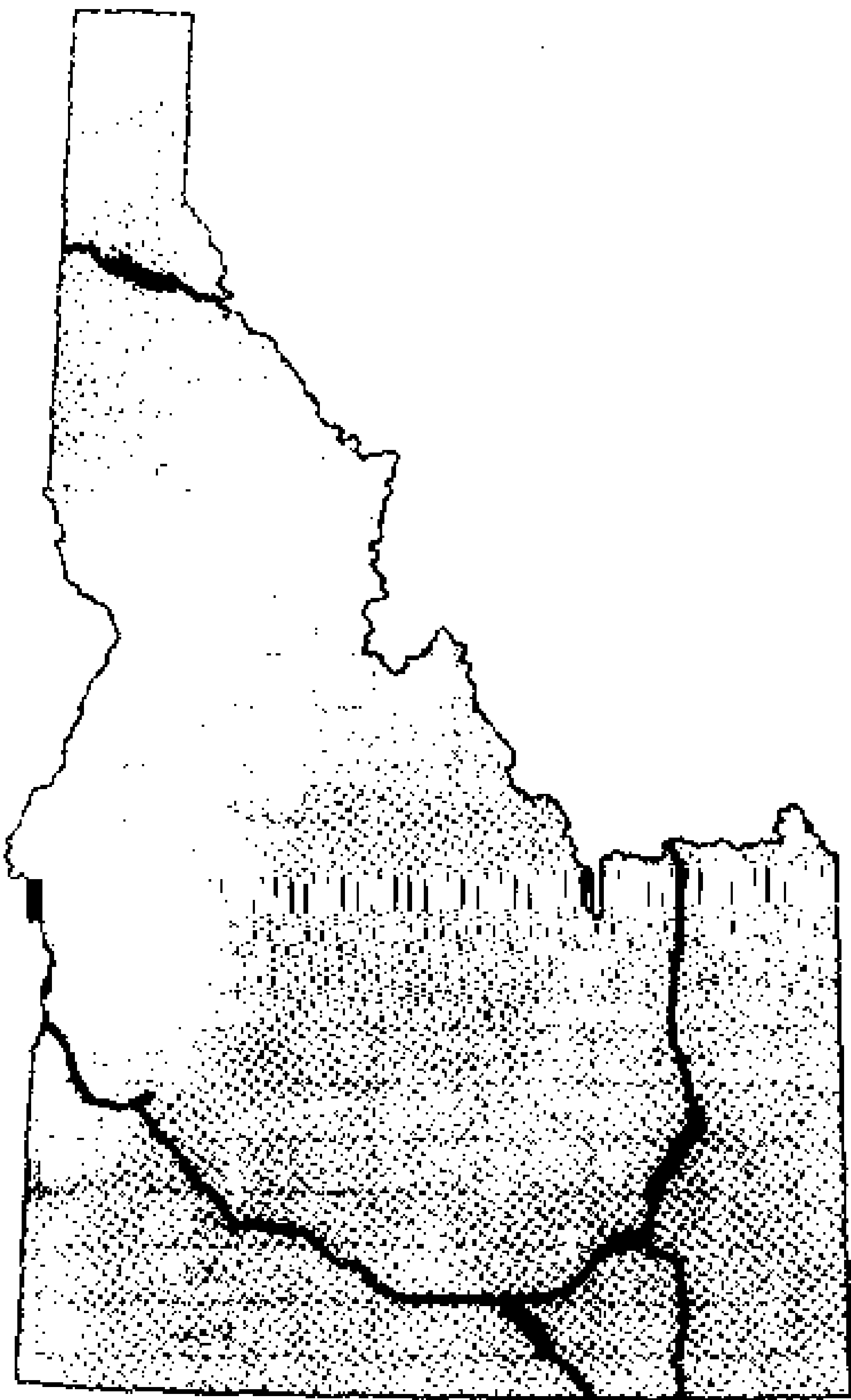


图 16.21 用逻辑表达式"Year <= 1990"查询事件表(表 16.7)的结果显示。

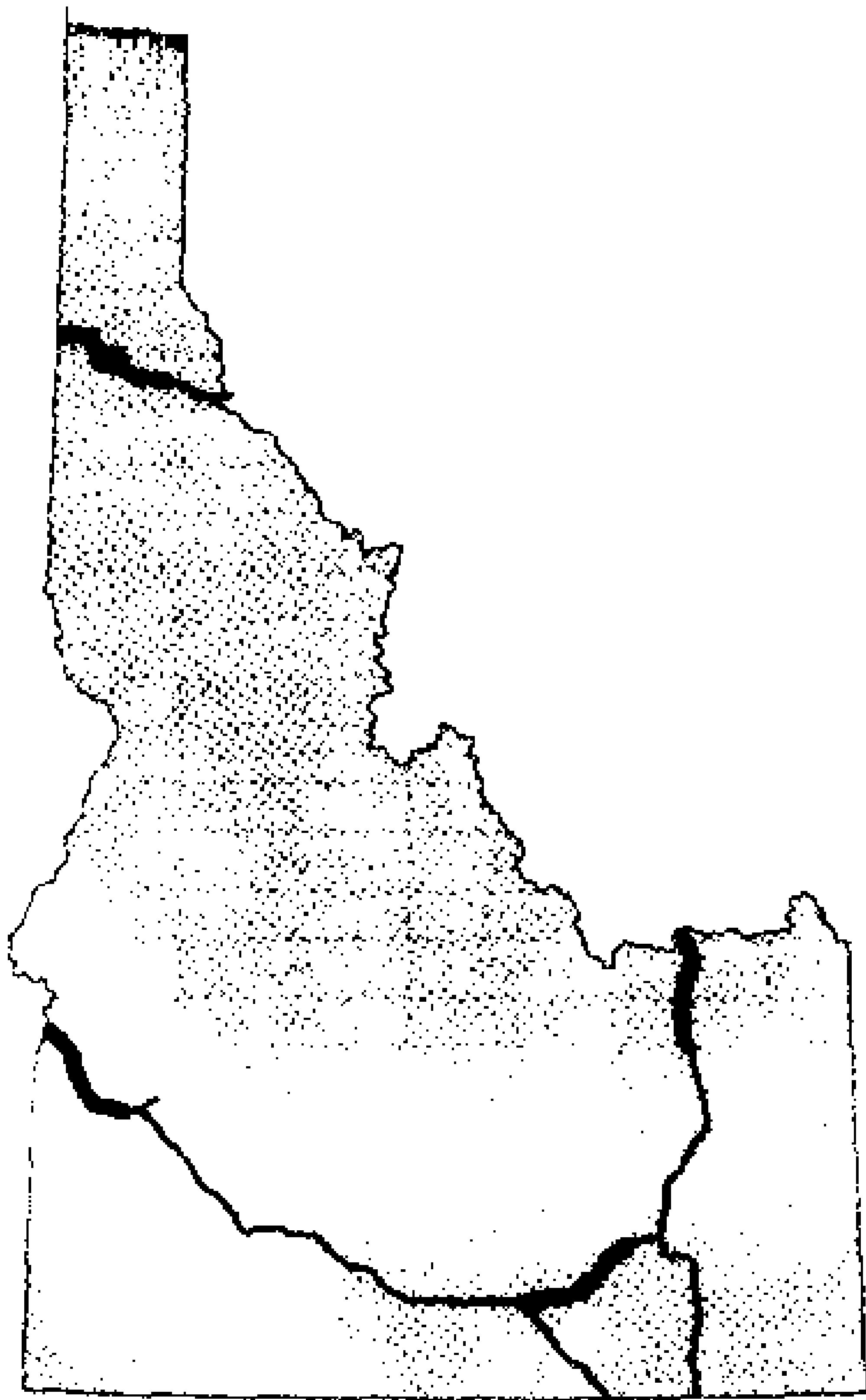


图 16.22 图示 15、84、86 和 90 号州际公路的第一个 50mi 分段。

16.6 动态分段的应用

动态分段模型的应用包括显示、查询和对路径、量度和事件的分析。相似于基于区域的命令，ARC/INFO也有专用于动态分段的命令。例如，许多应用都要求把事件来源与路径系统链接起来，则可以使用EVENTSOURCE或EVENTMENU命令。EVENTSOURCE用一个命令语句来建立用于链接的输入意见，而EVENTMENU则调用菜单来输入。

16.6.1 用事件进行数据查询

像属性数据表，事件表可用逻辑表达式进行查询。假设一个线性事件表有一个名为year（路面重铺年份）的项目，我们可以使用逻辑表达式"Year <= 1990"来选择1990年前重铺的公路路段。

事件数据的空间查询（比如，要查询新近发生事故的10mi路段之内过去发生的交通事故），首先把事件数据转换为一个图层，EVENTARC与EVENTPOINT两个命令可以完成该转换。例如，EVENTPOINT可把事故的点事件表转换为点图层，而后，点图层能以图形来查询。

16.6.2 用事件和路径进行数据分析

在ARC/INFO中建立路径的缓冲区，首先必须用ROUTEARC或SECTION ARC把该路径转换为弧段。然而在ArcView作路径缓冲则无需这种转换。如同建立河流的缓冲区，缓冲路径是很有用的管理工具。例如，为了研究公共运输路径的效率或公平性，可以用半英里的距离建立路径缓冲区，并把人口普查街区或街区群叠加在缓冲区上。从缓冲区获得的人口统计资料（如人口密度、收入水平、每个家庭所拥有的汽车数量及上班往返时间）可以为公共运输的规划和实施提供有用的信息。

OVERLAYEVENTS命令可以将事件数据与以下选项作叠加：线与线(line-on-line)或点与线(point-on-line)，以及联合(union)或相交(intersect)。假设一个点事件表显示交通事故，一个线事件表显示路面状况，就可以用点与线选项和相交选项叠加这两个事件表。结果可确定路面状况差的路段发生交通事故的可能性是否更大。

重要概念和术语

点事件：网络中发生在点位置上的事件，如事故或停车标记。

定位-配置：一种空间分析，通过用多组目标和约束条件使供给和需求相匹配。

分割路径：一条路径续分为二条路径。

简单路径：只有一个方向且无环路或分支的路径。

连续事件：在网络中不间断地涵盖整个路径的事件，如速度限制。

链路:在一个道路网络中被两个节点分开的线段。

链路阻抗:一条链路的旅行成本,可用实际长度或旅行时间来量测。

旅行推销员问题:一种网络分析,它以每个站点只经过一次、并返回旅行出发的起点为条件,来寻找最佳路径。

配置:通过网络研究资源的空间分布。

网络:一种线图层,是以弧段-节点模型为基础,并且具有用于对象流(如交通)的适当的属性。

线性事件:沿一个路径系统的不连续事件,如路面状况。

循环路径:一条自我交叉的路径。

转弯表:在道路网络中,用来赋予转弯阻抗值的表。

转弯阻抗:在道路网络中完成一个转弯所需的成本,一般以耽搁的时间来估量。

组合路径:与其他路径相连接的路径。

最大覆盖模型:解决定位-配置问题的一种算法,在指定时间或距离内,求得最大的需求覆盖。

最短路径分析:一种网络分析,在网络节点之间寻求最小累积阻抗的路径。

最近设施:一种网络分析,从确定的位置到所有的候选设施中计算出最短路径,然后找出这些候选设施中最靠近的设施。

最小距离模型:解决定位-配置问题的一种算法,将所有需求点到它们的最近供应中心的总行程最小化。这个模型也称为p-中心定位模型。

应用:网络和动态分段

本章应用部分共有五个习作。前三个习作包括了ArcView中的网络应用的三种类型:查找最短路径、查找最近设施和查找服务范围;习作4用ArcView和动态分割模型来显示巴士路径和沿线的点事件;习作5说明如何在ARC/INFO中从现有弧段和街道图层来创建自行车路径。

习作1 查找最佳路径

所需数据:点状专题图uscities.shp;线状专题图interstates.shp和多边形专题图lower48.shp。

lower48.shp表示美国本土,uscities.shp含有城市,interstates.shp包括州际公路。本习作的目的是查找两个城市之间的最佳(最短)路径,以英里或分钟表示。计算旅行时间的时速限制为65mi/h。旅行时间只考虑链路阻抗。

1. 启动ArcView并加载Network Analyst扩展模块。打开一个新视图,把lower48.shp、uscities.shp和interstates.shp加到视图中。从View下拉菜单选择Properties。在View Properties对话框中,设定地图单位为米,距离单位为英里。激活uscities.shp。
2. 使用Query Builder按钮和查询表达式([City_name] = "Helena")or ([City_name] = "Raleigh")来选择并加亮uscities.shp中的蒙大拿州的海伦娜和北卡

罗来纳州的罗利。

3. 激活 interstates.shp。从 Network 菜单选择 Find Best Route(查找最佳路径),把 Route1 加到目录表,并显示 Route1 对话框(这是用于路径的问题定义对话框)。
4. 在对话框中点击 Properties。在 Properties 菜单中,选择 Line Length(路径长度)作为 Cost Field(成本字段)。点击 OK 退出菜单。
5. 在 Route1 对话框中点击 Load Stops(加载站点),然后选 uscities.shp 为加载站点。在离开 Load Stops 菜单之后,你将看到两个站点被加到 Route1 对话框中。另一种加载站点的方法是使用 Add Location(添加位置)工具,指向海伦娜和罗利。这个方法需要放大以得到更准确的城市位置。用作站点的城市必须位于或接近于州际公路。
6. 在 Route1 对话框或视图视窗里点击 Solve Network Problem(解决网络问题)按钮。这一步计算全程距离。最佳路径显示于视图中。Route1 对话框也显示海伦娜和罗利之间的全程英里数。
7. 如果你在 Route1 Properties 菜单中把 Cost Field 由路径长度变为分钟,总的路径成本将以每小时限速 65mi 的旅行时间来量测。
8. 你可在海伦娜和罗利之间添加站点,比如增加芝加哥作为沿线的中间站点,步骤 2 中的查询表达改为:([City_name]="Helena")or([City_name]="Chicago Heights")or([City_name]="Raleigh")。

习作 2　查找最近设施

所需数据:线图层 moscowst 和点状专题图 firestat.shp。

Moscowst 是爱达荷州莫斯科市的街道图层。该图层最初源于 TIGER/Line 文件,已经过编辑和更新。firestat.shp 显示莫斯科市的两个消防站。本习作的目的是查找最近的消防站和从莫斯科市任何地点到消防站的最快途径。旅行时间的估算考虑链路阻抗、转弯阻抗和单行道。

1. 启动 ArcView 并加载 Network Analyst 扩展模块。打开一个新视图,把 moscowst 和 firestat.shp 加到视图。因为 moscowst 包含不止一个图层,添加 moscowst 的步骤有所不同。点击 Add Theme 按钮。在 Add Theme 对话框中,点击 moscowst 旁的图标。在该文件夹中有三个单独图层:route.bus、arc 和 node。点击 arc 把该图层加到视图。该视图显示莫斯科的街道。在 View 菜单中选择 Properties,把地图单位设为 m,距离单位设为英里。
2. 激活 moscowst 。
3. 在 Network 菜单中选择 Find Closest Facility(查找最近设施)。注意 Fac1 被加到了目录表中。在 Fac1 对话框中点击 Properties 并把成本字段确定为英里或分钟。点击 OK 离开 Properties 菜单。
4. 点击 Add Location(添加位置)工具,并在地图上点击一个点。
5. 点击 Solve Network Problem(解决网络问题)按钮。
6. Fac1 显示两个消防站中哪一个更接近于该地点,以及连接该地点与较近的消防站的最短路径。

7. 激活 Fac1。从 Theme 菜单选择 Table 来读取总成本。

习作 3 查找服务范围

所需数据：与习作 2 同样的数据 moscowst 和 firestat. shp。

习作 3 研究定位问题。目的是估量莫斯科两个消防站的效率。

1. 启动 ArcView 并加载 Network Analyst 扩展模块。打开一个新视图，把 moscowst (*arc*) 和 firestat. shp 加到视图。在 View 菜单中选择 Properties，把地图单位设为 m，距离单位设为英里。
2. 激活 moscowst。从 Network 菜单选择 Find Service Area(查找服务范围)。Find Service Area 功能把两个专题—服务范围专题(例如 Sarea1)和服务网络专题(Snet1)加到目录表中。Find Service Area 功能还打开了 Problem Definition(问题定义)对话框。你需要用三种方式与对话框相互作用。第一，在对话框中点击 Properties 打开 Property 菜单，在此你可选择分钟作为 Cost Field(成本字段)；第二，在 Problem Definition(问题定义)对话框中选择 Travel from Site(从站点旅行)并点击 Load Sites(加载站点)；第三，在 Load Sites 对话框中选择 firestat. shp。Problem Definition 对话框 Label 下现在有 Site #1 和 Site #2，在 Minutes 下有一些默认值。双击 Minutes 下的第一单元，输入数值 3。第二单元依此操作。数值 3 定义了从消防站 3min 之内响应时间的地区为服务范围。现在点击 Solve Network Problem(解决网络问题)按钮。
3. 视图显示从两个消防站 3min 之内响应时间的地区。Problem Definition 对话框显示覆盖的总面积和网络的总距离。
4. 你也可用距离而不用旅行时间来定义服务范围。

习作 4 在 ArcView 中显示道路系统的点事件

所需数据：moscowst 和名为 stations. txt 的点事件表。

moscowst 是爱达荷州莫斯科市的街道图层。Moscowst 的弧段已建有巴士路径系统。点事件表 stations. txt 有 busstations #、bus #、measure 和 adp 等字段。前三个字段分别是巴士停靠站 ID、路径 ID 和巴士停靠站的度量。Adp 是每日平均乘客数。本习作的目的是使你熟悉动态分段数据模型在 ArcView 中的应用。

1. 启动 ArcView 并点击 Add Theme 按钮。在 Add Theme 对话框中，点击 moscowst 旁的图标，把 route. bus 和 arc 加到视图。视图显示莫斯科市的街道和巴士路径。
2. 接着，把点事件(即巴士停靠站)加到视图。点击 Tables，然后点击 Add 菜单。在下一个对话框中，选 Delimited Text(划界文本)作为 File Type(文件类型)。双击 stations. txt 将其加到表格。
3. 从 View 下拉菜单选择 Add Event Theme。在 Add Event Theme 对话框中，点击上部的路径事件图标，然后选 Bus 为路径专题(route theme)，bus # 为路径字段(route field)，points 为事件类型(event type)，stations. txt 为表格(table)，bus # 为事件字段(event field)，measure 为位置字段(location field)。点击 OK。
4. 巴士站现在被加到视图。激活 stations. txt 专题并打开其专题属性表。点击 Query

Builder，用表达式 adp > 30 来选择日平均乘客数大于30人的巴士停靠站。那些选中的巴士停靠站被加亮。你也可以用分级符号来显示日平均乘客数。

习作 5　在 ARC/INFO 中创建自行车路径

所需数据：名为 mosst 的线图层。

与习作4中的 moscowst 相同，mosst 是爱达荷州莫斯科市的街道图层。在习作5中，你将用 ArcEdit 中的命令 MAKEROUTE，基于 mosst 的弧段和节点建立自行车路径。该自行车路径是从环城路沿第六街到华盛顿街的捷径。

1. 进入 ArcEdit，设定绘图和编辑环境。

   Arcedit：display 9999
   Arcedit：mapex mosst
   Arcedit：editcov mosst
   Arcedit：drawenv arc
   Arcedit：draw
   Arcedit：editfeature arc

2. 下一步，选择和显示第六街、环城路和华盛顿街。

   Arcedit：select fename = 'Sixth' (fename 包含街道名称)
   Arcedit：drawselect (加亮第六街)
   Arcedit：aselect fename = 'Perimeter' (把环城路加到子集)
   Arcedit：drawselect
   Arcedit：aselect fename = 'Washington' (把华盛顿街加到子集)
   Arcedit：drawselect

3. 该自行车路径沿第六街从环城路延伸到华盛顿街。为了在 mosst 的现有弧段上创建自行车路径，先选择组成该路径的弧段，然后运行 MAKEROUTE 命令。

   Arcedit：select many (选择该自行车路径的弧段并键入9退出)
   Arcedit：makeroute
   Usage：makeroute <subclass> {route-id} {measure_item} {UL | UR | LL | LR | * | xy} {START <start_measure>} {NOGAP | GAP} {CONNECT <connect_distance>}
   Arcedit：makeroute bike (用选上的弧段组成名为 bike 的路径)

4. 从 ArcEdit 退出并保存编辑。进到 Tables。

   输入命令：select mosst.ratbike (选择 bike 路径表)
   输入命令：list (该路径表显示单一路径)
   输入命令：select mosst.secbike (选择 bike 路段表)
   输入命令：list

5. 路段表有下列项目：ROUTELINK#、ARCLINK#、*F*-MEAS、*T*-MEAS、*F*-POS、*T*-POS、BIKE#和 BIKE-ID。ROUTELINK# 将路段与 bike 路径链接，而 ARCLINK# 将路段与 mosst 中的弧段链接。*F*-MEAS 和 *T*-MEAS 提供了路段的累计量度。*F*-POS 和 *T*-POS 量测与下伏弧段有关的每个路段的起止位置。

BIKE# 和 BIKE-ID 是路段的机器 ID 和标识 ID。

6. 你可用 Arc 的 DROPFEATURES 命令从图层中删除路径和路段。

Arc: dropfeatures

Usage: DROPFEATURES <cover> <feature_class> {ATTRIBUTES | GEOMETRY}

Arc: dropfeatures mosst route. bike (删除 bike 路径)

Arc: dropfeatures mosst section. bike (删除 bike 路段)

参考文献

Church, R. L. 1999. Location Modelling and GIS. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. MaGuire, and D. W. Rhind (eds.). *Geographical Information Systems*. New York: John Wiley & Sons, 2d ed. pp. 293－303.

Church, R. L., and C. S. ReVelle. 1974. The Maximal Covering Location Problem. *Papers of the Regional Science Association* 32: 101－118.

Densham, P. J., and G. Rushton. 1992. A More Efficient Heuristic for Solving Large *P*-median Problems. *Papers in Regional Science* 71: 307－329.

Dijkstra, E. W. 1959. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik* 1: 269－271.

Dreyfus, S. 1969. An Appraisal of Some Shortest Path Algorithms. *Operations Research* 17: 395－412.

Francis, R. L., T. J. Lowe, G. Rushton, and M. B. Rayco. 1999. A Synthesis of Aggregation Methods for Multifacility Location Problems: Strategies for Containing Error. *Geographical Analysis* 31: 67－87.

Fu, L., and L. R. Rilett. 1998. Expected Shortest Paths in Dynamic and Stochastic Traffic Networks. *Transportation Research B* 32: 499－516.

Ghosh, A., S. McLafferty, and C. S. Craig. 1995. Multifacility Retail Networks. In Z. Drezner (ed.). *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*. New York: Springer, pp. 301－330.

Hakimi, S. L. 1964. Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. *Operations Research* 12: 450－459.

Lin, S. 1965. Computer Solutions of the Travelling Salesman Problem. *Bell System Technical Journal* 44: 2245－2269.

Lowe, J. C., and S. Moryadas. 1975. *The Geography of Movement*. Boston: Houghton Mifflin Company.

Nyerges, T. L. 1995. Geographical Information System Support for Urban/regional Transportation Analysis. In S. Hanson (ed.). *The Geography of Urban Transportation*. 2d ed. New York: Guilford Press, pp. 240－265.

Teitz, M. B., and P. Bart. 1968. Heuristic Methods for Estimating the Generalised Vertex Median of a Weighted Graph. *Operations Research* 16: 953－961.

Waters, N. 1999. Transportation GIS: GIS-T. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. MaGuire, and D. W. Rhind (eds.). *Geographical Information Systems*. 2d ed. New York: John Wiley & Sons, pp. 827－844.

Ziliaskopoulos, A. K., and H. S. Mahmassani. 1996. A Note on Least Time Path Computation Considering Delays and Prohibitions for Intersection Movements. *Transportation Research B* 30: 359－367.